DIE NATURWISSENSCHAFTEN

Elfter Jahrgang. 26. Januar 1923. Heft 4.

Der gegenwärtige Stand der Erdbebenforschung (Seismologie).

Von E. Tams, Hamburg.

Vorwort. In der einleitenden Übersicht zu einer für diese Zeitschrift geplanten Reihe von einführenden Aufsätzen über den gegenwärtigen Stand der geologischen Forschung (diese Zeitschr. 1922, S. 782 ff.) weist der Verfasser *S. v. Bubnoff* der Erdbebenlehre mit Recht einen besonderen Platz an; denn so sehr dieselbe einerseits in der Geologie wurzelt und mit geologischen Begriffen und Erkenntnissen arbeiten muß, so sehr bedarf sie andererseits, und zwar gerade auch zur Beantwortung geologisch wichtiger Fragen, z. B. derjenigen der Herdtiefe und der seismischen Verhältnisse schwer zugänglicher Regionen wie der Meeresräume, wesentlich mathematisch-physikalischer Methoden. Und die Notwendigkeit, solche Arbeitsweisen zur Anwendung zu bringen, wächst in dem Maße, in welchem durch die Fortschritte der instrumentellen seismischen Beobachtung, die ja selbst ein ausgesprochen physikalisches Gepräge trägt, das Tatsachenmaterial immer umfassender, zuverlässiger und feiner wird, ganz abgesehen davon, daß eines der reizvollsten Probleme wie die Erforschung des Erdinnern von seiten der Seismologie ja überhaupt nur auf diesem Wege zu behandeln ist.

So hat sich denn die Lehre von den Erdbeben im Laufe der letzten Jahrzehnte mehr und mehr als eine selbständige Disziplin *geophysikalischen* Charakters entwickelt. Doch wird diese junge Wissenschaft gut daran tun, ihre Verbindung mit der Geologie nicht aus dem Auge zu verlieren. Schon der enge genetische Zusammenhang zwischen Erdbeben und tektonischen und vulkanischen Vorgängen zwingt unabweislich — will man nicht Gefahr laufen, oft ausschlaggebende Gesichtspunkte außer acht zu lassen —, die Pflege der geologischen Seite sich wohl angelegen sein zu lassen. In den folgenden Zeilen soll ein Bild von der zurzeit erreichten Entwicklungsstufe der Seismologie entworfen werden, wobei dann auch zugleich das soeben bezüglich der Methode nur Angedeutete noch im einzelnen klarer heraustreten wird.

1. Einleitung und Orientierung über die instrumentellen Grundlagen.
2. Die Erdbebenwellen als Mittel zur Untersuchung des Erdkörpers.
   a) Die tieferen Erdpartien.
   b) Die Oberflächenschichten.
3. Herdtiefe und Intensität.
4. Ursache und Verbreitung der Erdbeben.
5. Häufigkeit der Erdbeben.
6. Angewandte Seismologie.
7. Schluß.

1. Einleitung und Orientierung über die instrumentellen Grundlagen.

Die neuere Erdbebenforschung kann etwa von dem Zeitpunkte her datiert werden, wo es — und zwar im Jahre 1889 — dem deutschen Gelehrten *E. v. Rebeur-Paschwitz* gelungen war, in Potsdam und Wilhelmshaven die ersten Aufzeichnungen von Fernerdbeben, darunter auch von zwei japanischen, zu erhalten. Erst der Nachweis, daß es möglich war, mit Hilfe besonders konstruierter, hochempfindlicher Pendelapparate von Erdstößen aus weit abgelegenen Herden deutliche *Seismogramme* zu erhalten, eröffnete die Aussicht, die bis dahin allein von Bedeutung gewesene, aber vergleichsweise grobe direkte Beobachtung mittels der menschlichen Sinne durch die ungleich zuverlässigere und feinere indirekte Beobachtung mittels der *Seismographen* wesentlich, namentlich auch räumlich zu ergänzen. Ein grundlegender Fortschritt in der Erkenntnis der Ausbreitung der Erdbebenwellen war indessen doch auch schon ein Jahr früher durch *A. v. Schmidt* angebahnt worden, indem es dieser Autor noch auf Grund direkter *makroseismischer* Wahrnehmungen und gestützt auf allgemein theoretische Erwägungen wahrscheinlich machen konnte, daß die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Erdbebenwellen mit der Tiefe unter der Erdoberfläche zunähme, so daß die von den Wellen eingeschlagenen Bahnen dem Brechungsgesetz zufolge gekrümmt seien und ihre konvexe Seite dem Erdinnern zuwenden. Damit war die bisher der Einfachheit halber gemachte Annahme einer homogenen Erdkruste und einer konstanten Ausbreitungsgeschwindigkeit in ihr erschüttert, zugleich aber im Prinzip die Möglichkeit aufgezeigt, auch über die physikalische Beschaffenheit der tieferen Erdschichten Aufschluß zu bekommen. Ausgeschöpft aber konnte diese Möglichkeit erst durch die instrumentellen *mikroseismischen* Beobachtungen werden.

Es würde von dem eigentlichen Gegenstand dieser Darstellung zu weit abführen, wenn wir uns hier auch näher mit den Konstruktionsprinzipien der Seismographen und der bei Vollständigkeit recht verwickelten Theorie ihrer Wirkungsweise befassen wollten. Wenige allgemein orientierende Bemerkungen mögen daher in dieser Beziehung genügen.

Bei den schwingenden Bewegungen, die ein Bodenteilchen infolge irgendeines fernen Bebens

ausführt, kommt es, wie die Erfahrung gelehrt hat, in erster Linie auf die Linearverschiebungen an, während ihnen gegenüber Neigungen ganz zurücktreten. Zu einem erfolgreichen Studium der ersten Bewegungsart ist aber, da die Verschiebung natürlich nach jeder beliebigen Richtung im Raum erfolgen kann, ihre Zerlegung in drei Komponenten, nämlich zwei horizontale (am zweckmäßigsten eine nordsüdliche und eine ostwestliche) und eine vertikale oder zenitale, erforderlich. Der Aufzeichnung der Horizontalkomponenten dienen die *Horizontalseismographen*, derjenigen der Vertikalkomponente die *Vertikalseismographen*. Beiden Klassen von Apparaten liegt die Idee des Pendels zugrunde; den Horizontalseismographen dient als Grundtypus das gewöhnliche Vertikalpendel, den Vertikalseismographen ein an einer Spirale aufgehängter Körper, der nur vertikale Führung besitzt. Im einzelnen aber können in jeder Klasse ganz verschiedene Konstruktionen ausgeführt werden. In beiden Fällen verharrt die Pendelmasse bei sehr schnellen (streng genommen, unendlich schnellen) Bodenverrückungen im stationären Zustand, gerät aber bei weniger schnellen Bewegungen auch ihrerseits in Schwingungen, die dann zwecks Befreiung der dem Apparat durch den Erdboden aufgezwungenen Schwingungen von den lediglich den Apparat charakterisierenden Eigenschwingungen durch eine besondere Einrichtung gedämpft werden. Die Relativbewegung zu dem als starr mit dem Erdboden verbunden zu denkenden Pendelgerüst wird schließlich durch ein Hebelwerk mechanisch, d. h. in Ruß oder mit Tinte, oder auch durch einen Lichtstrahl photographisch in starker Vergrößerung aufgezeichnet. Wegen der bei Ruß- oder Tinteschreibung in den Hebelgelenken und auf der Registrierfläche auftretenden merklichen Reibungswiderstände müssen, wenn man eine große Empfindlichkeit erreichen will, entsprechend große Trägheitsmomente, also bei gedrängter Bauart schwere Massen zur Anwendung kommen, was bei der reibungslos vor sich gehenden optischen Registriermethode nicht erforderlich ist. In umfassender und für die Zukunft bestimmender Weise wurde in streng mathematisch-physikalischer Darstellung eine „Theorie der automatischen Seismographen" zuerst von *E. Wiechert* 1903 gegeben. Diesem Autor sowie *C. Mainka* und dem russischen Seismologen *B. Galitzin* verdanken wir auch die zurzeit leistungsfähigsten Apparate, nämlich ein schweres umgekehrtes Pendel (*astatisches Pendelseismometer*) und ein schweres Horizontalpendel (*bifilares Kegelpendel*) zur mechanischen und ein leichtes *Horizontalpendel mit elektromagnetisch-galvanometrischer Übertragung* der Schwingungen zur optischen Aufzeichnung der horizontalen Bewegung sowie desgleichen hochempfindliche mechanisch oder galvanometrisch-optisch schreibende *Vertikalseismographen*.

Solche modernen Apparate liefern von einem hinreichend starken Erdbeben auch in der größten auf der Erde möglichen Entfernung von 20 000 Kilometern noch bedeutende Diagramme, wodurch zugleich der Nachweis erbracht ist, daß die ausgesprochenen Großbeben mikroseismisch die ganze Erdoberfläche sehr erheblich betreffen. Und andererseits sind auch makroseismisch mehr lokal wahrnehmbare, rein oberflächliche Erderschütterungen noch bis zu Herdabständen von einigen Hunderten von Kilometern instrumentell zu verfolgen, wie neuerdings wieder die Explosionskatastrophe von Oppau im September 1921 gelehrt hat, deren Schütterwellen merklich noch in Göttingen und München, d. i. in 262 bzw. 307 km Entfernung registriert wurden; hier betrug in diesem Fall die tatsächliche Bodenschwingung von einem Umkehrpunkt zum andern im Maximum der Größenordnung nach nur noch ½ bis 2 Tausendstel Millimeter bei einer Wellenperiode von etwa 2 sec. Ein Messinabeben am 28. Dezember 1908 bewirkte dagegen in Hamburg in rd. 1800 km Entfernung allein horizontal eine Maximalbewegung von mindestens 4 mm (Wellenperiode: 23 bis 26 sec) und noch in dem um 17 100 km entfernten Apia auf Samoa Schwingungen der Bodenteilchen von $^1/_{10}$ mm Weite (Wellenperiode 20 bis 23 sec).

2. Die Erdbebenwellen als Mittel zur Untersuchung des Erdkörpers.

a) Die tieferen Erdpartien. Eine derartige Verfeinerung der Beobachtungsmethoden ließ nun mit Erfolg an eine befriedigendere und vollständigere Beantwortung der Fragen über die Natur und Ausbreitung der Erdbebenwellen durch den Erdkörper herantreten. Es zeigte sich sogleich, daß in Übereinstimmung mit der Elastizitätstheorie ein klares Seismogramm in seinen ersten Teilen deutlich zwei verschiedene Wellenzüge, einen longitudinalen mit Schwingungen der Bodenteilchen in der Fortpflanzungsrichtung und einen transversalen mit Schwingungen senkrecht dazu aufweist, und daß die Geschwindigkeiten dieser beiden Wellengattungen entsprechend der *v. Schmidt*schen Auffassung mit der Tiefe wachsen. Einen direkten Beweis für den longitudinalen Charakter der sogen. *ersten Vorläufer* oder *P-Wellen* (undae primae) und den transversalen Charakter der sogen. *zweiten Vorläufer* oder *S-Wellen* (undae secundae) erbrachte zuerst *B. Galitzin:* in Arbeiten der Jahre 1909 bis 1911 legte er im einzelnen dar, daß die Annahme, es handele sich bei der ersten Vorphase um longitudinale Kondensations- und Dilatationswellen, aus den drei Bewegungskomponenten des ersten Einsatzes eine recht genaue eindeutige Bestimmung des Azimuts des ankommenden Wellenstrahls zuläßt, sofern nur die erste eingetretene Bodenverrückung klar zur Aufzeichnung gelangt ist, wie dies namentlich bei den aperiodisch eingestellten *Galitzin*schen Seismographen mit galvanometrischer Fernregistrierung der Fall ist; und ferner konnte er in mehreren Beispielen aus dem

ersten Einsatz der zweiten Vorphase im Seismogramm das Azimut auch dieser Bodenverrückung berechnen und hieraus (in Verbindung mit dem für den ersten Ausschlag der ersten Vorphase ermittelten Azimut) den Winkel, den die Schwingungsebene bei den zweiten Vorläufern mit der durch Herd, Station und Erdzentrum gehenden Hauptebene bildete.

Ein anderer bedeutsamer Erfolg war es ferner, als es *H. Benndorf* (1905 und 1906) und *E. Wiechert* (1907) gelang, die Methoden zu entwickeln, nach denen man auf Grund der doch nur an der Erdoberfläche anstellbaren seismometrischen Beobachtungen in das Erdinnere selbst eindringen, d. h. Weg und Geschwindigkeit der Erdbebenwellen in den Tiefen des Erdkörpers ermitteln kann. Das Ausgangselement für diese Überlegungen ist die *Laufzeit* T der Vorläuferwellen, d. i. die Zeit, welche eine solche Welle vom Stoßzentrum zu irgendeinem Beobachtungsort des Schütterbereichs gebraucht, in ihrer Abhängigkeit von der Herdentfernung oder auch von der *Epizentraldistanz* Δ, wenn bei Vernachlässigung der (2 % des Erdradius wohl kaum überschreitenden) Herdtiefe an die Stelle des *Herdes* oder *Hypozentrums* das senkrecht über ihm in der Erdoberfläche angenommene *Epizentrum* tritt. Dieser Zusammenhang von T und Δ, welcher der Beobachtung verhältnismäßig leicht zugänglich ist und somit empirisch am einfachsten in einem rechtwinkligen Koordinatensystem etwa mit T als Ordinate und Δ als Abszisse in der Form einer *Laufzeitkurve* dargestellt werden kann, und die grundlegende Bedeutung einer möglichst genauen Kenntnis solcher Laufzeitkurven für die Erforschung des Erdinnern sind in einführender Weise schon oft beleuchtet worden, so daß sich hier ein näheres Eingehen auf diese Frage erübrigen dürfte.

Der Übergang von den Geschwindigkeiten v_l und v_t der longitudinalen und transversalen Wellen zu der Dichte ϱ des von ihnen durcheilten Mediums und dessen Elastizitätskoeffizienten, der *Kompressibilität* $1/K$ (K = Kompressionskoeffizient oder Modul der Volumenelastizität) und der *Riegheit* R (auch Starrheitskoeffizient oder Modul der Gestaltselastizität) ist durch die Formeln:

$$K = \varrho \left(v_l^2 - \frac{4}{3} v_t^2 \right)$$

und

$$R = \varrho \, v_t^2$$

gegeben. Kennt man die Dichte nicht, so läßt sich aus den Geschwindigkeiten nur die sogen. *Elastizitätszahl* (auch Poissonsche Zahl oder Modul der Querkontraktion)

$$q = \frac{v_l^2 - 2 \, v_t^2}{2 \, (v_l^2 - v_t^2)}$$

berechnen. Der zurzeit letzten Arbeit der *Wiechert*schen Schule über die Konstitution des Erdkörpers aus der Feder von *B. Gutenberg* (1914), welche auch noch eine auf *K. Zoeppritz* zurückgehende, auf den Intensitätsverhältnissen der Vorläuferwellen fußende Weiterentwicklung der ursprünglichen Methode benutzte, kann das folgende Bild der Geschwindigkeitsverteilung entnommen werden:

v_l (v_t) wächst von dem Werte 7,17 km/sec (4,01) an der Oberfläche zunächst sehr rasch auf 11,80 (6,59) in 1200 km Tiefe, dann wesentlich langsamer auf 12,22 (6,86) in 1700 km und auf 13,29 (7,32) in 2450 km Tiefe, um nun bei geringem Abfall auf 13,15 (7,20) bis 2900 km Tiefe konstant zu bleiben, hier aber plötzlich auf 8,50 (4,72) zu sinken und sodann bis zum Erdmittelpunkt wieder auf 11,10 (6,15) anzusteigen. Für Tiefen größer als 2480 km wurde freilich angenommen, daß v_t zu v_l in dem konstanten Verhältnis von 1 : 1,8 stände. Es entspricht dies dem für den Erdkörper nicht unwahrscheinlichen Wert von 0,277 für q; denn in den Tiefen bis 2450 km liegt diese Größe zwischen 0,272 und 0,282. (Für Schmiedeeisen und Stahl beträgt ihr Wert etwa 0,28.) Auch stehen hiermit die in großen Epizentraldistanzen gemachten Beobachtungen verschiedener Welleneinsätze in gutem Einklang. Hiernach heben sich im Erdinnern zwei Unstetigkeitsflächen, nämlich in 1200 km und 2900 km Tiefe, besonders deutlich heraus.

Nehmen wir nun als mittlere Dichte des 1200 km mächtigen Mantels, der als eine *Gesteinsschale* vorzustellen ist, $\varrho = 3{,}4$ an, so kann weiter nach den Berechnungen von *W. Klußmann* (1915) für die 1700 km dicke Zwischenschicht $\varrho = 6{,}0$ und für den rd. 3500 km im Radius messenden Kern $\varrho = 9{,}2$ gesetzt werden, so daß man hinsichtlich der Zusammensetzung bei der Zwischenschicht wesentlich an Eisenerze und beim Kern an Eisen, Nickel, Kobalt selbst zu denken hätte. (Vgl. hierzu die näheren petrographischen Ausführungen von *V. M. Goldschmidt* in dieser Zeitschrift 1922, S. 918 ff.) Mit den mittleren Geschwindigkeitswerten von rd. 9,5 bzw. 5,3 für den Mantel, 12,6 bzw. 7,0 für die Zwischenschicht und 9,8 bzw. 5,4 für den Kern ergeben sich sodann aus den mitgeteilten Formeln in cgs-Einheiten *Kompressibilität* bzw. *Riegheit* im Mittel:

für den Mantel zu: $5{,}6 \cdot 10^{-13}$ bzw. $1{,}0 \cdot 10^{12}$
für die Zwischenschicht zu: $1{,}8 \cdot 10^{-13}$ bzw. $2{,}9 \cdot 10^{12}$
und für den Kern zu: $1{,}9 \cdot 10^{-13}$ bzw. $2{,}7 \cdot 10^{12}$

Hiernach nimmt zwar, wie zu erwarten war, infolge des wachsenden Druckes mit zunehmender Tiefe die Kompressibilität stark ab und die Riegheit zu, doch unterscheiden sich Zwischenschicht und Kern in ihrem elastischen Verhalten kaum voneinander; ihre Kompressibilität ist rd. 4mal geringer, ihre Riegheit rd. 3½mal größer als beim Stahl, für den die entsprechenden Werte $7{,}3 \cdot 10^{-13}$ und $0{,}8 \cdot 10^{12}$ betragen. Der Gesteinsmantel dagegen besitzt im ganzen nur etwa die gleiche Riegheit wie Stahl und eine um nur ¼ bis $^1/_5$ kleinere Kompressibilität. Die geringe Kompressibilität der tieferen Partien ist aber ein Hinweis darauf, daß dieselben aus anderen Substanzen bestehen müssen als die peripherischen Zonen; denn die

hohe Dichte namentlich des Erdkerns kann somit nicht lediglich durch Komprimierung der Oberflächenmaterialien hervorgerufen worden sein, deren Dichte in der äußeren sedimentären Hülle, der Stratosphäre, sogar nur 2,6 bis 2,8 beträgt. In der Tat ist ja auch die errechnete mittlere Kerndichte 9,2 gleich der Dichte des nur wenig komprimierten Eisens, Nickels und Kobalts. Im übrigen aber haben die für den Kern abgeleiteten Werte der Elastizitätsmoduln nur einen bedingten Wert, da ja hier v_t einfach gleich $\frac{v_l}{1{,}8}$ gesetzt wurde. Auch deuten neuere Beobachtungen darauf hin, daß der oben für die Kernoberfläche angegebene bedeutende Sprung in der Geschwindigkeit vielleicht nicht unwesentlich geringer ist. Indessen besteht doch im ganzen eine gute Übereinstimmung mit den Riegheitskoeffizienten, welche *W. Schweydar* 1921 aus der Deformation der Erde durch Flutkräfte sowie aus der Periode der Polbewegung abgeleitet hat. Die gezeitenwirksame Starrheit der Erde ist hiernach (allerdings unter Voraussetzung der stetigen *Roche*schen Dichteverteilung) gleich 1,7 bis $1{,}8 \cdot 10^{12}$, und allgemein ergibt sich für den Riegheitskoeffizienten bei Annahme einer stetigen Abhängigkeit vom Mittelpunktsabstand nach Art des Dichtegesetzes von *Roche* der Wert $3{,}1 \cdot 10^{12}\left[1-0{,}9\left(\frac{r}{R}\right)^2\right]$, wo R den Erdradius und r die Entfernung der gerade betrachteten Schicht vom Erdzentrum bedeutet, d. h. also für den Erdmittelpunkt ($r = 0$) $3{,}1 \cdot 10^{12}$. Die für die Ableitung dieser Formel notwendige Kenntnis des Wertes der Oberflächenstarrheit ($r = R$: $0{,}3 \cdot 10^{12}$) wurde aus Beobachtungen über die Geschwindigkeit der Erdbebenwellen in den obersten Erdschichten gewonnen.

Um eine ungefähre Vorstellung von der Strahlenbahn im Erdinnern zu geben, sei noch erwähnt, daß z. B. ein bis 2450 km Tiefe eindringender Strahl beider Vorläufer an der Erdoberfläche in rd. 8500 km Entfernung vom Epizentrum wieder auftaucht und die Laufzeit für den ganzen Weg 12,1 bzw. 21,7 Minuten beträgt, je nachdem es sich um longitudinale oder transversale Wellen handelt. Dem äußersten Strahl, welcher noch ganz im Mantel verläuft, also eine maximale oder *Scheiteltiefe* von 1200 km erreicht, entspricht eine Epizentraldistanz von rd. 4500 km und eine Laufzeit von 8,0 bzw. 14,2 Minuten. Zum Durchlaufen eines ganzen Erddurchmessers benötigen die Longitudinalwellen 20,4 Minuten. (Ausführlichere Angaben hierüber sind in dieser Zeitschrift 1920, S. 993 ff. von *C. Mainka* gemacht worden.)

Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der beiden Vorläufer in den Oberflächenschichten, welche oben zu 7,17 bzw. 4,01 km/sec angegeben worden war, stellt sich nach neueren Untersuchungen allerdings als nicht unwesentlich geringer dar. So fand *C. Zeißig* aus Registrierungen süddeutscher Beben für die ersten Vorläufer nur 6,3 km/sec, *O. Hecker* aus den Aufzeichnungen der Explosionskatastrophe von Oppau 5,73 und *A. de Quervain* aus Beobachtungen bei Schweizer Beben für die ersten Vorläufer sogar nur 5,10 bis 5,25 und für die zweiten Vorläufer 3,00 bis 3,10.

Das Vorhandensein von Unstetigkeitsflächen in rd. 1200, 1700 und 2500 km Tiefe konnte *S. Mohorovičič* in einer ganz unabhängig ausgeführten Arbeit (1916), welche außerdem noch eine Unstetigkeit in 2000 km Tiefe ergab, bestätigen. Überdies scheinen nach diesem Autor in den obersten Erdschichten weitere Diskontinuitäten in 3½ km, 30 bis 35 km, sodann sehr ausgesprochen in 50 bis 60 km, ferner in 120 km und vielleicht auch in 400 km Tiefe zu bestehen. Auch *Mohorovičič* geht dabei aber von einer wesentlich niedrigeren Fortpflanzungsgeschwindigkeit der longitudinalen Wellen nächst der Oberfläche, nämlich von dem Werte 5,54 km/sec aus, der in rd. 60 km Tiefe erst auf 5,8 angewachsen sein, hier aber einen Sprung auf etwa 7,9 erleiden soll. — Die Diskontinuität in 120 km Tiefe würde gut mit der Lage der aus Schwerkraftsbeobachtungen zu folgernden Ausgleichsfläche in eben dieser Tiefe harmonieren; denn nach der Lehre von der isostatischen Anordnung der Massen in der Erdkruste sind erst hier die namentlich in den Kontinenten und Ozeanen sichtbaren Massenunregelmäßigkeiten an der Erdoberfläche auskompensiert, in dem Sinne, daß über nicht zu kleinen Teilen der Niveaufläche in dieser Ausgleichstiefe überall gleiche Massen lagern. Andererseits ist aber zu bedenken, daß der Betrag von 120 km nur einen ungefähren Mittelwert für diese Tiefe darstellt, von dem regional sehr wohl Abweichungen bis zu 100 km vorkommen mögen.

Auch im übrigen herrscht bezüglich der Struktur der Erdkruste noch keineswegs volle Klarheit. So glaubt z. B. *Wiechert* aus der Natur gewisser Wellen der Hauptphase mit rein horizontalen Schwingungen quer zur Fortpflanzungsrichtung auf die Eigenschwingungen einer äußeren, meist in 30 bis 40 km Tiefe von einer sehr nachgiebigen Magmaschicht unterlagerten Erdrinde schließen zu können, was wieder an die eine bereits oben erwähnte, unabhängig von *Mohorovičič* wahrscheinlich gemachte Diskontinuitätsfläche erinnert, während nach den von *W. Schweydar* ausgeführten Beobachtungen über die körperlichen Gezeiten und die Polbewegung der Erde geschlossen werden muß, daß unter einer 120 km dicken Erdkruste eine zusammenhängende Schicht zäher Flüssigkeit nicht vorhanden sein kann. Wie weit sich dieses Ergebnis ändern würde, wenn als Mächtigkeit der Erdrinde auch hier nur 30 bis 40 km angesetzt würde, bedürfte indessen wohl noch einer besonderen Untersuchung. — Zum Schluß dieses Abschnitts sei endlich noch auf eine erst 1919 erschienene sehr eingehende Arbeit von *C. G. Knott* über die Ausbreitung der Erdbebenwellen hingewiesen, welche, allerdings nur auf den älteren auf das Jahr 1907 zurückgehenden

Laufzeitangaben von *Zoeppritz* und *Geiger* fußend, im großen ein etwas anderes Bild von der Konstitution des Erdkörpers entwirft, indem ein elastisch fester Mantel bis zur Tiefe von ungefähr der halben Länge des Erdradius in eine Zone abnehmender Festigkeit übergeht und so schließlich einen Kern mit einem Radius gleich 0,4 Erdradius umfaßt, der vermutlich als nichtstarr und als merklich kompressibel zu betrachten sei.

b) Die Oberflächenschichten. Die sich längs der Oberfläche ausbreitenden *Haupt-* und *Nachläuferwellen* in einem Seismogramm werfen nun noch in anderer als in der schon oben angedeuteten Weise Licht auf die Natur der obersten Schichten. Auch die Geschwindigkeit dieser Wellen ist naturgemäß von den Elastizitätskoeffizienten der von ihnen durcheilten Schollen abhängig, und so ist es von großem Interesse, festzustellen, ob in dieser Beziehung etwa merkliche Unterschiede zwischen den kontinentalen Schichten und den ozeanischen Böden vorhanden sind. Der Verfasser dieser Zeilen konnte zeigen, daß dieses in der Tat der Fall ist; denn er erhielt aus einem Material von 95 bzw. 112 Einzelbeobachtungen im Mittel für die Geschwindigkeit der Hauptwellen am Boden des pazifischen Ozeans 3,897 km/sec ± 0,028 m. F. und durch Europa-Asien sowie Amerika 3,801 km/sec ± 0,029 m. F. Und *G. Angenheister* fand gleichzeitig (1921), indem er noch zwei verschiedene Arten der Hauptwellen voneinander zu trennen suchte, allerdings nur auf Grund von 2 Beben und von Beobachtungen an 4 Stationen einen Unterschied in demselben Sinne, aber von sogar rd. 20 %. Jedenfalls dürfte somit der ozeanische Boden die Oberflächenwellen schneller fortleiten als der kontinentale, was dadurch seine Erklärung finden kann, daß infolge des Entwicklungsganges der Großformen im Erdantlitz jener nach seiner physikalischen Beschaffenheit den tieferen Erdschichten näher steht als dieser. Auf die gleiche Erklärung weist der Umstand hin, daß nach demselben Autor auch die ersten bzw. zweiten Vorläufer bei einer Epizentraldistanz von 670 km, welcher eine maximale Tiefe der Strahlenwege von nicht über 50 km entspricht, unter dem Pazifik eine um 13 bzw. 25 sec kleinere Laufzeit besitzen als unter Europa. Schließlich deuten auch die Perioden der Nachläuferwellen auf eine Abhängigkeit von der Natur der zwischen Epizentrum und Station liegenden Krustenteile; denn auch nach *Angenheisters* Angaben ergibt sich von neuem wieder für den Pazifik eine Periode von rd. 17½ sec, dagegen für Asien von nur rd. 14½ sec, woraus dann weiter hypothetisch, unter der Annahme, daß es sich hierbei um Eigenschwingungen der obersten Erdkruste handele, und unter Benutzung der entsprechenden Geschwindigkeitswerte die Dicke dieser Kruste unter dem Pazifik zu etwa 35 bis 40 km und unter Asien zu etwa 28 km berechnet werden kann.

Analoge, indessen noch nicht geklärte Zusammenhänge sind nach Untersuchungen von *O. Hecker, B. Gutenberg* und *O. Geußenhainer* zweifellos zwischen diesen Faktoren und der sogen. *mikroseismischen Unruhe* vorhanden, jenen schwachen, vielfach ganze Erdteile zu gleicher Zeit betreffenden Bodenoszillationen, die, selten ganz fehlend, besonders mit Wellenperioden von etwa 4 bis 10 sec den Registrierlinien der Seismographen ein charakteristisches, gleichförmig unruhiges Gepräge geben und deren Ursache in Änderungen der Luftdruckverteilung über größeren Gebieten wie wohl namentlich auch in der Brandung an Steilküsten zu suchen ist. Aber auch geologische Momente im engeren Sinne, wie die Tektonik auf dem Wege vom Herd zur Station, sodann die lokalen Strukturverhältnisse im Herd- und Stationsgebiet und die Gesteinsbeschaffenheit in diesem, stehen, wie *H. Reich* dargetan hat, in enger Beziehung zur Intensität der Hauptphase eines Seismogramms. Für die Stärke der mikroseismischen Bodenunruhe scheint, abgesehen von der Lage zur Störungsquelle, die Tektonik des Stationsgebietes ausschlaggebender als seine lithologische Beschaffenheit zu sein.

Die Oberflächenwellen bieten aber auch sonst noch einiges Interesse. Man kann in den Aufzeichnungen starker Beben neben den auf dem kürzeren Bogen zwischen Epizentrum und Station eingetroffenen Wellen W_1 auch vielfach diejenigen Wellen W_2 feststellen, welche die Station auf dem längeren, über den Gegenpunkt des Epizentrums oder das sogen. *Antiepizentrum* führenden Bogen erreicht haben, und weiter solche W_1- und W_2-Wellen, welche, nachdem sie das erstemal an der Station eintrafen, nun die Erde noch einmal ganz umkreisen, um als W_3- bzw. W_4-Wellen die Station zum zweitenmal zu erreichen. Im Antiepizentrum findet auf diese Weise wie in einem Brennpunkt jedesmal wieder eine Sammlung der Energie der Oberflächenwellen statt. Nach einem vollen Umlauf um die Erde, zu dem etwa 3¼ Stunden benötigt werden, ist aber infolge der unterwegs stattgefundenen Absorption die Energie auf 0,01 bis 0,02 ‰ ihres ursprünglichen Betrages gesunken, während sie sich im Antiepizentrum immerhin noch auf 4 ‰ ihres Anfangswertes beläuft. Es entspricht dies einem Absorptionskoeffizienten der oberen Erdschichten von rd. 0,000 28 auf das Kilometer. Ist die Fortpflanzungsgeschwindigkeit dieser verschiedenen Wellenzüge bekannt, so kann man aus ihrem Auftreten im Seismogramm *einer* Station angenähert auch die Epizentraldistanz berechnen, wofür erst neuerdings *K. Mack* einfache Formeln aufgestellt hat.

3. Herdtiefe und Intensität.

Die Verbindung zwischen der physikalischen und der geologischen Seite der Erdbebenforschung wird nun besonders auch durch das Problem der *Herdtiefe* hergestellt. Eine

zuverlässige Kenntnis dieser Größe wird naturgemäß die Überlegungen über die Ursache eines Bebens, d. h. über den Zusammenhang seiner Entstehung mit dem geologischen Bau des von ihm betroffenen Gebietes erheblich sicherer gestalten, ja letzthin überhaupt erst zu einem gewissen Abschluß bringen können; sie ist aber andererseits nur mit Hilfe präziser instrumenteller Beobachtungen und scharfer Rechnungsmethoden zu erlangen. Ungefähre relative Abschätzungen der Herdtiefe kann man zwar häufig schon auf Grund der makroseismischen Erscheinungsweise vornehmen, insofern ein Beben mit ausgedehntem Schüttergebiet, aber verhältnismäßig geringer epizentraler Intensität eine größere Herdtiefe besitzen wird als eine heftige, aber mehr lokale Erschütterung. Hierzu wie auch zu näherer Festlegung des oberflächlichen Ausgangsgebietes oder der *Epizentralregion* ist der Entwurf eines möglichst getreuen Bildes der Intensitätsverteilung im makroseismischen Bereich nötig, wie es durch Anwendung sog. empirischer Intensitätsskalen, welche die Bebenstärke gradweise nach den Wirkungen auf Menschen, Häuser und Landschaft klassifizieren, und durch Konstruktion von Linien gleicher Bebenstärke oder *Isoseisten* ermöglicht wird. In dieser Beziehung erscheint die zwölfteilige, nach ihren makroseismischen Kriterien von *A. Sieberg* ergänzte *Mercalli-Cancani-Skala* besonders geeignet, zumal bei ihr durch *Cancanis* Untersuchungen zugleich auch der so wichtige Übergang von der relativen zur absoluten Einschätzung gegeben ist. Indem nämlich *Cancani* als absolutes Maß der Intensität die maximale Beschleunigung der Bodenteilchen während ihrer schwingenden Bewegung zu benutzen suchte, erkannte er, daß die den einzelnen empirischen Graden entsprechenden Werte dieser maximalen Beschleunigung angenähert das Gesetz einer geometrischen Reihe mit dem Quotienten 2 befolgen[1]).

Diese mit der relativen parallel gehende absolute Staffel gab *R. v. Kövesligethy* auch das Mittel an die Hand, auf die Intensitätsverteilung die Methode einer genaueren Berechnung der Herdtiefe zu gründen. Doch obwohl dieser Versuch als grundsätzlich von großer Bedeutung angesehen werden muß, so können die theoretischen Ausgangsgleichungen und namentlich auch die Güte des bisherigen Beobachtungsmaterials kaum als ausreichend betrachtet werden, um auf diesem Wege zuverlässige Resultate zu erzielen. Einwandfreiere Ergebnisse sind auf Grund instrumentell beobachteter Eintrittszeiten der ersten ankommenden Welle an herdnahen Stationen oder ihrer *Emergenzwinkel*, d. i. der Winkel, unter denen ihre Normale an der Erdoberfläche hervorkommt, zu erhoffen, wenn auch hier die zu verlangende Genauigkeit bezüglich der Zeiten auf $^1/_{10}$ bis $^2/_{10}$ sec und bezüglich der Winkel auf mindestens 1° noch nicht erreicht ist. Ausgehend von Laufzeitbeobachtungen, fand so *S. Mohorovičič* die Herdtiefe des Kulpatalbebens (Kroatien) vom 8. Oktober 1909 zu rd. 22 km und diejenige des süddeutschen Bebens vom 16. November 1911 zu rd. 40 km, während unabhängig für das letztgenannte Beben *A. Mohorovičič* 45 km und *Galitzin* 9,5 ± 3,8 km errechnete. *Gutenberg* zeigte dann etwas später durch Verarbeitung aller brauchbaren Daten, daß sich die Beobachtungen ebensowohl mit einer Herdtiefe von 15 km als mit einer solchen von 45 km vertrügen, und daß es nicht möglich wäre, den wahrscheinlichsten Wert anzugeben. Immerhin gehören die mitgeteilten, aus dem bisher besten Material sorgfältig abgeleiteten Werte derselben Größenordnung an, insofern jedenfalls der Betrag von einigen Zehnern von Kilometern nicht überschritten wird, und das stimmt wieder gut zu der mittleren Lage der Ausgleichsfläche in 120 km Tiefe, da wegen der unterhalb derselben herrschenden Ausgeglichenheit in der Massenanordnung plötzliche, zu Erdbeben führende Bewegungsvorgänge in größerer Tiefe schwer vorstellbar sind.

Der Umstand, daß das Herdtiefenproblem ganz besonders exakte, herdnahe Beobachtungen als Unterlage erfordert, wird natürlich auch in Zukunft eine erfolgreiche Lösung immer nur bei einer vergleichsweise geringen Anzahl von Beben ermöglichen. Doch wird man, wenn sich so im Laufe der Zeit die Zahl der einwandfreieren Resultate vermehrt hat, allgemeinere Schlüsse schon mit größerer Sicherheit ziehen können. Eine Frage von besonderem Interesse ist hierbei noch, ob nicht möglicherweise wegen der verschiedenen Beschaffenheit des kontinentalen und des ozeanischen Bodens eine, wenn auch wohl nur kleine systematische Verschiedenheit der Herdtiefen bei Beben des Festlandes und des Tiefseegrundes vorhanden ist. Eine Beantwortung dieser Frage dürfte freilich noch in weitem Felde liegen, zumal von Beben des Ozeanbodens seismometrische Beobachtungen nur aus größerer Entfernung gegeben sind. Direkte Wahrnehmungen solcher Beben sind mehr zufällig und daher stets nur sehr lückenhaft möglich, wenn dieselben sich als *Seebeben* auf gerade vorüberfahrenden Schiffen bemerkbar machen, und eignen sich kaum als Unterlage zu weitergehenden Schlußfolgerungen. Es mag jedoch nicht unerwähnt bleiben, daß *E. Rudolph*, dem wir die ersten und hinsichtlich

[1]) Die dem Verfasser aus Gründen der Einheitlichkeit und Übersichtlichkeit am zweckmäßigsten erscheinende allgemeine Form ist aus einem in Petermanns Mitteilungen erscheinenden Artikel desselben zu ersehen. Hier seien nur die einzelnen Grade nach ihren empirischen Kennworten und den ihnen entsprechenden absoluten Werten der maximalen Beschleunigung mitgeteilt: *1.°Mercalli-Cancani*: instrumentaler Stoß; < 2,5 mm/sec². *2.°M.-C.*: sehr leicht; 2,5—5,0 mm/sec². *3.°M.-C.*: leicht; 5—10 mm/sec². *4.°M.-C.*: mäßig; 10—25 mm/sec². *5.°M.-C.*: ziemlich stark; 25—50 mm/sec². *6.°M.-C.*: stark; 50—100 mm/sec². *7.°M.-C.*: sehr stark; 100—250 mm/sec². *8.°M.-C.*: vereinzelt mäßig zerstörend; 250—500 mm/sec². *9.°M.-C.*: vereinzelt zerstörend; 500—1000 mm/sec². *10.°M.-C.*: größtenteils zerstörend; 1000—2500 mm/sec². *11.°M.-C.*: zerstörend; 2500—5000 mm/sec². *12.°M.-C.*: verheerend; 5000—10 000 mm/sec².

der geographischen Verbreitung grundlegenden Arbeiten über Seebeben verdanken, auch eine eigene zehnteilige Intensitätsskala für dieselben aufgestellt hat. Es liegt indessen in der Natur der Sache, daß auch eine solche besondere Skala nicht annähernd den gleichen Nutzen haben kann wie bei Landbeben. Eine modifizierte und entsprechend der größeren Unbestimmtheit der Beobachtungen an Bord auf sechs Stufen zusammengezogene Staffel hat *A. Sieberg* in seiner Darstellung der „Methoden der Erdbebenforschung" (siehe *K. Keilhack*, Lehrbuch der praktischen Geologie, 4. Aufl., 1922, Bd. *II*) gegeben.

4. Ursache und Verbreitung der Erdbeben.

Die Auffassung über die Ursache der Erdbeben zeigt eine der fortschreitenden Erkenntnis vom Bau der Erde entsprechende Entwicklung. Noch *G. Gerland* — der erfolgreiche Organisator des deutschen wie namentlich auch des internationalen Erdbebenbeobachtungsdienstes, dessen Tatkraft sehr wesentlich die Verwirklichung des auf *E. v. Rebeur-Paschwitz* zurückgehenden Vorschlages einer internationalen Vereinigung durch Gründung einer zwischenstaatlichen seismologischen Assoziation (zum Teil der Mutter der nach dem Kriege geschaffenen, aber wegen Fehlens der Mittelmächte naturgemäß unvollständigen geodätisch-geophysikalischen Union) durchsetzte — hegte um die Jahrhundertwende die Meinung, daß die seismischen und vulkanischen Erscheinungen ihren Ursprung nicht in der Erdrinde selbst hätten, sondern gemeinsam in heftigen Bewegungsvorgängen begründet seien, die sich in der Übergangszone zwischen dem aus dissoziierten und äußerst spannkräftigen Gasen aufgebaut gedachten Erdinnern und einer als glühendflüssig und schließlich latentplastisch vorgestellten Region unterhalb der eigentlichen starren Erdkruste abspielen und an der Erdoberfläche vorzugsweise in den jungen Bruch-, Vulkan- und Faltungsgebieten als den Zonen geringsten Widerstandes zur Äußerung kommen sollten. Demgegenüber hat sich freilich die schon damals vorherrschende Ansicht von einer im wesentlichen tektonischen, d. h. lediglich auf Verschiebungen im Schollengefüge der Erdrinde beruhenden Ursache der meisten Beben weiter gefestigt, und die besonders von *R. Hoernes* klar durchgeführte Gegenüberstellung der *tektonischen und vulkanischen Beben* im ganzen als glücklich erwiesen. Die Annahme explosionsartiger Prozesse in großer Tiefe läßt sich auch schwer mit dem seither nachgewiesenen, bereits oben herangezogenen Vorhandensein einer Gleichgewichtsfläche in rd. 120 km Tiefe vereinigen.

Soweit einerseits ein ausgesprochenes Gebundensein der Epizentralzone an eine Dislokationslinie oder an ein System solcher Linien vorhanden ist, wie z. B. bei dem kalifornischen Beben von 1906, wo man dann auch von *seismotektonischen Linien* spricht, oder andererseits das Ausgangsgebiet der Erschütterung in den Bezirk eines noch nicht als erloschen zu betrachtenden Vulkans fällt, wie z. B. bei den vesuvianischen und ätnaischen Beben, ist die soeben angeführte Unterscheidung der beiden Klassen von Erdbeben im allgemeinen nicht schwierig, wenn wir noch von einer dritten Klasse, nämlich den auf Einbrüchen unterirdischer Höhlen und Gänge in Kalkgebirgen und dergl., aber auch in den Gebieten aktiver Vulkane beruhenden *Einsturzbeben* wegen ihrer nicht eigentlich endogenen Ursache und ungleich geringeren Bedeutung absehen[2]). Doch ergeben sich sofort dort Komplikationen, wo ein solcher Zusammenhang mit der geologischen Struktur der betroffenen Gegend nicht offenkundig ist, oder wo zwar für eine junge geologische Vergangenheit, aber doch nicht mehr für die Gegenwart aktiver, nach außen zutage tretender oder extrusiver Vulkanismus in Betracht gezogen werden kann, wie z. B. bei den Beben in Skandinavien und Finnland bzw. den Erdstößen, die aus der Region des vulkanisch erloschenen Kaiserstuhls in dem tektonischen Einbruch der oberrheinischen Tiefebene stammen. Wie immer Einzelfälle dieser Art mehr oder weniger geklärt sein mögen — die Kaiserstuhlbeben werden neuerdings als rein tektonische aufgefaßt —, so nötigen solche Verhältnisse jedenfalls dazu, neben eigentlich tektonischen oder *Dislokationsbeben* und eigentlich vulkanischen Beben auch noch *epirogenetische* und *kryptovulkanische* Beben als möglich anzuerkennen, d. h. solche Beben, die auf langsamer, säkularer Hebung und Senkung größerer Schollen (Fennoskandia) bzw. auf einer verborgenen, intrusiven vulkanischen Tätigkeit beruhen. Wie weit bei jener Art *magmatische* Einflüsse (Magma gleich zähflüssige oder teigartige Masse, die vielfach unterhalb, zum Teil auch innerhalb der starren Erdrinde gelagert sein dürfte und bei Vulkanausbrüchen als Lava hervorkommt) und bei dieser Art tektonische Vorgänge mit hineinspielen, ist eine nicht leicht zu entscheidende Frage für sich. (Siehe auch den eingangs zitierten Artikel von *S. v. Bubnoff* in dieser Zeitschrift.)

Die vulkanischen und kryptovulkanischen Beben wurden noch von *W. Branca* unter dem einheitlichen Begriff der *magmatischen* Beben

[2]) Unter Hinweis auf einen neuerdings stattgefundenen Meteorfall in Virginia (U. S. A.), durch den ein Erdloch von etwa 15 m Durchmesser entstand und ein weiterhin fühlbares Erdbeben hervorgerufen sein soll, macht *A. Rzehak* (1922) darauf aufmerksam, daß man somit auch einen solchen Aufsturz größerer kosmischer Massen, wie er ja auch in wesentlich bedeutenderem Umfang und weiter zurückliegender Zeit bei Bildung des Meteoritenkraters von Arizona vor sich gegangen ist, unter den Ursachen von Erdbeben aufzuführen hätte. Es wären dann den *Einsturzbeben* noch die *Aufsturzbeben* an die Seite zu stellen. Natürlich aber kommt diesen letzten Beben in Ansehung ihrer allgemeinen Bedeutung eine noch untergeordnetere Rolle als jenen zu.

zusammengefaßt, wobei dieser Forscher zugleich den Standpunkt vertrat, daß physikalische und chemische Prozesse in einem Magmanest auch bei vermeintlich tektonischen Beben häufiger eine auslösende Rolle mitspielten, als im allgemeinen angenommen würde. Doch wenn schon, wie es Verfasser auf Grund einer Hypothese von *G. de Geer* über Magmaverschiebungen im Zusammenhang mit der Einsenkung des europäischen Nordmeeres z. B. bezüglich der Seismizität dieses Meeresgebietes und seiner Umrandung ausgesprochen hat, stellenweise die Möglichkeit einer primären magmatischen Ursache auch in größerem Umfange gegeben sein mag, so lehren aber wieder neuere Untersuchungen auf den Philippinen (*S. Masó* und *W. D. Smith*) wie in dem holländischen Inselarchipel Ostasiens (*H. A. Brouwer*), daß gerade auch in diesen Gebieten reichster vulkanischer Tätigkeit die meisten und stärksten Erdbeben in deutlichem Zusammenhang mit tektonischen Linien stehen und demgegenüber die vulkanischen Beben an Bedeutung zurücktreten. Ein solches Überwiegen der tektonischen Momente bei der Entstehung von Erdbeben lehrte indessen auch bereits das von *F. de Montessus de Ballore* ein erstes Mal genauer entworfene Bild der geographischen Verbreitung der Erdbeben (in vollständiger Zusammenfassung 1906 in seiner Géographie séismologique „Les tremblements de terre" veröffentlicht), aus dem klar hervorging, daß ganz allgemein die zahlreichsten und größten seismischen Ereignisse in den beiden Hauptreliefgürteln auftreten, die unsere Erde in der mediterranen Zone sowie längs der pazifischen Gestade durchziehen und welche die jüngsten (tertiären) und höchsten Kettengebirge wie zugleich in den diese letzteren vielfach begleitenden Tiefseerinnen die größten ozeanischen Tiefen und somit auch die ausgeprägtesten Brüche und Verwerfungen aufweisen.

Wichtige Ergänzungen zu diesem Bilde gaben sodann im Jahre 1914 *E. Rudolph* und *S. Szirtes*, indem sie vor allem die neueren Ergebnisse der Lokalisierung von Epizentren auf Grund mikroseismischer Registrierungen mitberücksichtigten und auf diese Weise, wie ihre Karten zeigen, erst die bedeutende Seismizität der Tiefseegräben näher dartun konnten, ohne daß freilich diese beiden Autoren bei ihrem Erklärungsversuch der Verteilung der Großbeben auf diesen Umstand irgendwelches Gewicht gelegt hätten, denn sie glaubten, die hohe Bebentätigkeit des ganzen mediterranen und zirkumpazifischen Gürtels im letzten Grunde auf eine intensivere Wirksamkeit des diesen Zonen in vergleichsweise geringer Tiefe unterlagerten sogen. pazifischen Magmas zurückführen zu sollen, und betrachteten die Zonen der Tiefseegräben nicht als besonders bemerkenswerte tektonische Linien. Dieser wohl kaum mit der Art des Ablaufs der geotektonischen Entwicklung in Einklang zu bringenden genetischen Auffasung widerspricht auch die neueste Darstellung der Seismizität der Erde, welche soeben *A. Sieberg* in einer ausführlicheren Arbeit über „Die Verbreitung der Erdbeben auf Grund neuerer makro- und mikroseismischer Beobachtungen und ihre Bedeutung für Fragen der Tektonik" (Veröffentl. d. Hauptstation f. Erdbebenforschung in Jena, 1922) geliefert hat. Hiernach erweist sich als seismisch wichtigster Faktor die Bruchdislokation, sofern an ihr überhaupt nur noch die endogenen Kräfte zur Auswirkung kommen; der normale Faltungsprozeß tritt demgegenüber an Bedeutung zurück. Die früher schon einmal von *E. Rudolph* in ganz ähnlichem Sinne eingeführte Unterscheidung von Bruch- und Faltungsbeben erscheint nun in noch hellerem Licht; und was die so hervortretende seismische Tätigkeit namentlich der pazifischen Tiefseegräben anbelangt, so würde dieselbe demnach als Hinweis darauf aufzufassen sein, daß wir es hier in den meisten Fällen mit großen Bruchgebilden in der Erdrinde zu tun haben, was auch in Übereinstimmung mit der von anderer Seite (*Mellard Reade, G. Schott* und *P. Perlewitz, J. Geikie*) aus allgemeineren, nicht seismischen Gesichtspunkten heraus vertretenen Ansicht steht, daß diese randständigen Depressionszonen im wesentlichen oben Staffelbrüche oder Grabenverwerfungen jugendlichen Alters darstellen.

Als seismisch am ruhigsten, wenn nicht zum großen Teil stabil oder *aseismisch* (im Gegensatz zu *seismisch* oder erdbebenreich und *peneseismisch* oder mäßig bewegt) haben die tafelähnlichen Gebiete alter Architektur, wie das europäische und sibirische Rußland, Kanada östlich des Felsengebirges, Patagonien, die Sahara u. a., und die alten paläozoischen Rumpfgebirge wie Ural und Appalachen zu gelten, ferner aber auch mit Ausnahme der Randzonen das nord- und südpazifische Becken, sodann weite Gebiete des Atlantischen und Indischen Ozeans, namentlich nach Süden zu in dem zusammenhängenden breiten, die vermutlich ebenfalls sehr bebenarme Antarktis umschließenden Wasserring. Im allgemeinen dürfte bei den aseismischen Massen bezüglich ihrer Lagerung über den unteren Krustenpartien Gleichgewicht oder Isostasie erreicht sein, während in den seismisch regsten Gebieten durchweg noch keine isostatische Ausgeglichenheit herrscht. Diese in etwas anderer Form für die Küstenzonen von *O. Meißner* formulierte Gesetzmäßigkeit weist aber doch auch beachtenswerte Ausnahmen auf. Um weiter seismogenetische Gesetze aufzudecken oder bisher nur angedeutete Zusammenhänge zu klären und in ihrer Realität zu erhärten, wird es aber nunmehr erforderlich sein, auf Grund des reichlich vorhandenen Materials mit eingehenderen regionalen Untersuchungen fortzufahren, wie dies neuerdings z. B. wieder von *F. Heritsch* (1918) für die nordöstlichen Alpen, von *W. Visser* (1921) in bezug auf den ostindischen Archipel, von *E. Krenkel* (1922) hinsichtlich der Erdbeben Ostafrikas und vom Verfasser bzw. *E. Pautsch* (1921 und 1922) bezüglich des seismischen Verhaltens des Europäischen

Nordmeeres und seiner Umgebung wie des Europäischen Mittelmeeres geschehen ist. Es hat natürlich ein großes Interesse, u. a. die bisher nicht bekannte hohe Seismizität Ostafrikas (250 bis 300 Beben jährlich) oder auch des Europäischen Nordmeeres und der angrenzenden Meeresteile, wo im ganzen genommen Frequenz und Intensität der Beben derjenigen des Europäischen Mittelmeeres entspricht, möglichst im einzelnen nach geographischen und geologisch-geodynamischen Gesichtspunkten darzulegen. Betreffs der Erdbeben des Meeresbodens und unbewohnter Gebiete befindet sich dabei die neuere Seismologie gegenüber früheren Zeiten bekanntlich in dem großen Vorteil, daß es sehr bald gelang, Methoden auszuarbeiten, die eine recht gute Lokalisierung der Epizentren lediglich mittels seismometrischer, weitab vom Herde gewonnener Registrierungen gestatten. Neben einer kritischen Anwendung dieser namentlich von *L. Geiger* (Verfahren nach den Differenzen der Ankunftszeiten der *P*-Wellen), *O. Klotz* und *E. Rosenthal* (stereographisches Verfahren mittels der aus den Seismogrammen ablesbaren Epizentraldistanzen) sowie *C. Zeißig* (kombinierte Verfahren) angegebenen rechnerischen und zeichnerischen Methoden, soweit nicht schon bei gut beobachteten Landbeben die makroseismischen Daten eine genaue Ermittlung der Epizentralregion zulassen, wird man zur Vertiefung unserer Kenntnisse über Sitz und Art des Auslösungsvorganges in besonders ausgezeichneten Fällen immer mehr eine möglichst zuverlässige Feststellung der Herdtiefe anzustreben haben, was allerdings, wie weiter oben bemerkt, zurzeit noch auf erhebliche Schwierigkeiten stößt.

5. *Häufigkeit der Erdbeben.*

Die Vervollkommnung der instrumentellen Beobachtungen und die Verdichtung des makro- und mikroseismischen Beobachtungsnetzes erbringt nun für die schon von *Alexander v. Humboldt* ausgesprochene Meinung, daß unsere Erde keinen Augenblick ganz bebenfrei sei, mehr und mehr den Beweis der Richtigkeit. Faßt man unter den Begriff eines *Großbebens* alle diejenigen Erderschütterungen zusammen, welche bis zu mindestens 500 km Abstand vom Epizentrum gefühlt wurden, dabei aber außerdem eine mikroseismische Reichweite von wenigstens 10 000 km besaßen, so rechnet man jetzt im Laufe eines Jahres zwar nur auf 70 bis 80 Beben solchen Energiegehalts, doch überwiegen naturgemäß die mittleren und schwachen Beben bei weitem. So entfallen z. B. allein auf die seismisch freilich besonders rege japanische Zone südwärts bis Formosa in einem Durchschnitt von 6 Jahren 4 bis 5 Beben täglich, aber jährlich wieder nur 2 bis 3 Beben mit einer makroseismischen Reichweite von mindestens 200 bis 300 km; und für Italien ergeben sich in einem 20jährigen Durchschnitt unter Einschluß der im Gefolge von starken Beben oft noch in größerer Zahl auftretenden Nachstöße 4 Beben in 3 Tagen und ohne Zählung solcher Nachstöße etwa 4 Beben in 5 Tagen. Der hohe Grad der Seismizität dieses Landes wird aber noch besonders gut durch den Umstand beleuchtet, daß nach *A. Riccó* die gegenseitigen Abstände der Epizentren der bedeutenderen Erdbeben, welche fast sämtlich der Kammzone der Apenninen und ihren Abzweigungen angehören, im Mittel kleiner sind als die Radien der Gebiete zerstörender Wirkungen. Zeitweilig kann die seismische Aktivität eines Gebietes auch durch *Erdbebenschwärme* eine besondere Erhöhung erfahren. Das gilt z. B. von dem geotektonisch im Schnitt des erzgebirgischen und thüringischen Gebirgssystems eine besondere Stellung einnehmenden Vogtland, das wieder im Herbst 1908 einem sehr bemerkenswerten, von *Fr. Etzold* näher untersuchten Bebenschwarm ausgesetzt war. Wenn hier auch die Intensität im Maximum 5 bis 6 Grad *Mercalli-Cancani* nicht überschritten hat, so häuften sich doch im Epizentralgebiet die Erschütterungen derart, daß sich am 3., 5. und 6. November im Mittel täglich 80 bis 90, am 4. November aber allein 185 Stöße ereigneten, während in Sachsen überhaupt in den 75 Tagen vom 18. Oktober bis zum 31. Dezember insgesamt 1384 Stöße gefühlt wurden.

Welchen Grad die Seismizität in den Bezirken tätiger Vulkane erreichen kann, ist erst neuerdings durch die sorgfältigen instrumentellen Beobachtungen recht klar geworden, welche in Japan u. a. auch während der Eruptionsperiode des Asama-Yama (Zentralnippon) in den 6 Jahren von 1911 bis 1916 von *F. Omori* angestellt worden sind. Hiernach stellte sich für diesen Zeitraum die tägliche Bebenfrequenz in der nächsten Umgebung des Vulkans durchschnittlich auf 4—5. Freilich kam in diesen Bodenerschütterungen nur eine sehr geringe Energie zur Entfaltung, denn in den beiden ersten Jahren waren doch von 1065 nichteruptiven Beben, d. h. von solchen Bodenzuckungen, die nicht von einem Ausbruch begleitet waren, nur 181 unmittelbar in Yunotaira in 2,3 km horizontalem Abstand vom Krater fühlbar

Je größer nun die Gewißheit ist, daß die Beobachtungen vollständig sind, um so erfolgreicher wird man schließlich noch die interessante, hier wenigstens kurz zu berührende Frage nach etwa vorhandenen Periodizitäten in dem Auftreten der Erdbeben oder nach ihrer Abhängigkeit von sekundären Vorgängen angreifen können. Ohne uns bei der zurzeit noch vorhandenen Ungeklärtheit dieser Verhältnisse näher auf Einzelheiten einlassen zu wollen — es sind zum Teil widersprechende, zum Teil jedenfalls nur vorläufige Resultate erzielt —, sei aber doch vom grundsätzlichen Standpunkt aus betont, daß z. B. die Möglichkeit eines sekundären Zusammenhanges zwischen Erdbeben einerseits und Polschwankungen oder den Gezeiten der Hydrosphäre wie der Lithosphäre oder der Luftdruckverteilung und der wechselnden Wärmeeinstrahlung im Laufe des Jahres wie des Tages andererseits durchaus nicht von der Hand gewiesen werden

kann. Trotz mancher wertvoller Ansätze auch auf diesem Gebiet[3]) bleibt natürlich hier besonders das meiste noch der Zukunft zu tun übrig. Immer vollständiger auszugestaltende Jahreskataloge über die Makro- und Mikroseismen der ganzen Erde, wie sie in stetiger Verbesserung von 1904 bis 1908 bereits von dem ehemaligen Straßburger Zentralbureau der internationalen seismologischen Assoziation herausgegeben wurden, und daneben einen möglichst großen Zeitraum umfassende Erdbebenübersichten einzelner Länder sind in dieser Beziehung ein erstes Erfordernis. Hier möge nur noch aus Mitteleuropa auf die seit Ende 1879 regelmäßig über die schweizerischen Erdbeben erscheinenden Jahresberichte hingewiesen sein sowie ferner auf die Chroniken der in den alten österreichischen Ländern beobachteten Erdbeben, die in sehr ausführlichen Zusammenstellungen seit 1897 veröffentlicht und bis 1915 durchgeführt wurden und sodann in gedrängterer Darstellung bis 1921 vorliegen. In Deutschland verfügt neuerdings Bayern über ein sehr vollständiges Erdbebenverzeichnis, indem seit 1905 in erster Linie *J. Messerschmitt* und *C. Lutz* über die hier eingetretenen Beben berichteten und für die ganze geschichtliche Vorzeit nunmehr ein Erdbebenkatalog von *H. Gießberger* im Erscheinen begriffen ist, dessen soeben herausgegebener erster Teil die makroseismischen Nachrichten bis 1699 umfaßt. Auch besitzt Sachsen für den Zeitraum von 1875 bis 1915 aus der Feder von *H. Credner* und *Fr. Etzold* sehr wertvolle und ziemlich vollständige Darstellungen seiner Erdstöße, insbesondere der vogtländischen Schwarmbeben.

6. *Angewandte Seismologie.*

Ein praktischer Nutzen ergab sich aus der Seismologie zunächst nur für die erdbebenreichen Länder, indem man hier, so in Japan und Italien, allerdings begreiflicherweise schon sehr früh dazu überging, aus den gemachten unmittelbaren und instrumentellen Beobachtungen allgemeiner gültige Bauregeln für die Errichtung „erdbebensicherer" Häuser abzuleiten. Die japanische Erdbebenkommission hat z. B. als Muster solcher empfehlenswerter Konstruktionen Modelle eines Bauernhauses, eines bürgerlichen Wohnhauses und eines kleinen Verwaltungsgebäudes, sämtlich zur Hauptsache aus dem nachgiebigen Holz aufzuführen, entworfen. Daneben werden weiter, so von *F. Omori, E. Oddone,* Untersuchungen über die Eigenschwingungen und die Stabilität besonders hoher und schlanker Bauwerke, wie Kamine, Leuchttürme, Brückenpfeiler, bei Erdbeben, Windstößen und künstlichen Erschütterungen fortgesetzt. Für hochragende Gebäude (San Francisco) hat sich ein elastisches Stahlgerüst als sehr vorteilhaft erwiesen; außerdem aber ist naturgemäß auch die Beschaffenheit des Mörtels als Bindemittel der einzelnen Bausteine für die Widerstandsfähigkeit gegenüber Beschädigungen bzw. Zerstörungen von großer Bedeutung. Für experimentelle, in dieser Richtung liegende Vorarbeiten wird vielfach eine besondere Erschütterungsplattform gebraucht. In Deutschland sind Untersuchungen künstlicher Erschütterungen, wie sie z. B. auch durch Maschinenbetrieb, Straßenverkehr, Sprengungen u. dgl. hervorgerufen werden, und der Bau hierzu geeigneter Meßapparate wesentlich durch *L. Grunmach, C. Mainka* und *L. Mintrop* gefördert worden. Einen großen Erfolg stellen insbesondere die Experimentaluntersuchungen von *Grunmach* zur Ermittlung der Felsschwingungen dar, welche durch den Wasserabsturz an der Queistalsperre bei Marklissa hervorgerufen werden. Es gelang diesem Autor, eine so fein arbeitende Apparatur herzustellen, daß durch dieselbe mittels der bereits in der Einleitung erwähnten, von *Galitzin* in die eigentliche Seismik eingeführten elektromagnetischen Fernregistrierung die am unzugänglichen Aufstellungsort der Instrumente auftretenden äußerst raschen und kleinen Erschütterungen nach Periode, Amplitude und Beschleunigung exakt zur Aufzeichnung gelangten. Die Beobachtungen lehrten, daß es sich um Perioden von nur hundertstel und tausendstel Sekunden und um Amplituden von nur tausendstel bis hunderttausendstel Millimeter handelte. Einen anderen bedeutungsvollen praktischen Erfolg hat die Seismik auch in dem *Mintrop*schen Verfahren zur Erforschung von Gebirgsschichten und nutzbaren Lagerstätten zu verzeichnen, nach welchem die durch Sprengungen an der Oberfläche oder durch Fallwerke erzeugten elastischen Bodenschwingungen in einiger Entfernung vom Störungsherd seismogrammartig durch stark vergrößerndes transportables Gerät aufgezeichnet werden und dadurch zur Aufhellung der Konstitution der von ihnen durcheilten obersten Schichten in analoger Weise verwertet werden können, wie dies bei den eigentlichen Erdbebenwellen im großen bezüglich des ganzen Erdkörpers möglich ist.

Schließlich sei hier noch in Ansehung ihres praktischen Wertes auf die in anderer Richtung liegenden Erfahrungen hingewiesen, welche man in Japan, Kalifornien, Italien und anläßlich des süddeutschen Bebens vom 16. November 1911 auch in Deutschland betreffs der verschiedengradigen seismischen Gefährlichkeit des Untergrundes gemacht hat. Stuft man die einzelnen Bodenarten nach den auf ihnen beobachteten makroseismischen Wirkungen ab, so tritt sogleich hervor, daß unter sonst gleichen Umständen bei nicht zu großer Mächtigkeit weiche Schichten, z. B. alluviale Talböden, wesentlich höhere Intensitäten aufweisen als harter Felsboden, z. B. aus

[3]) So z. B. die sorgfältige Studie von *V. Conrad* (1909 und 1912) über die zeitliche Verteilung der in den österreichischen Alpen- und Karstländern gefühlten Erdbeben. Neben dem Nachweis eines deutlichen jährlichen und täglichen Ganges der Erdbebenhäufigkeit brachte sie auch das Ergebnis, daß starke Gradienten in der Luftdruckverteilung über den österreichischen Schüttergebieten sekundär auslösend wirken können.

Kalk oder kristallinischem Gestein. Lockere Massen von bedeutenderer Mächtigkeit üben dagegen ähnlich wie die ozeanischen Wassermassen bei Seebeben einen erheblich abschwächenden Einfluß aus. Ganz analoge Verhältnisse traten auch wieder bei der Explosion von Rothenstein bei Königsberg i. Pr. im April 1920 zutage. Nach *F. Errulat* scheint nämlich die verschiedene Intensität der dabei aufgetretenen Bauschäden in Königsberg selbst wesentlich durch Unterschiede des Untergrundes bedingt zu sein, indem die durchfeuchteten, mächtigen Torfschichten des Pregeltals gegenüber den diluvialen Kiesen des Stadtteils Haberberg merklich dämpfend gewirkt haben dürften. Eine präzisere Fassung hat diesen Erfahrungen *H. F. Reid* zu geben versucht, als er auf Grund einer eingehenden Untersuchung der beim kalifornischen Beben von 1906 im Stadtgebiet von San Francisco zur Geltung gekommenen Intensitätsverteilung die geschätzten maximalen Beschleunigungen der Erdteilchen für die verschiedenen Bodenarten miteinander verglich. Er fand für die auf diese Weise erhaltenen *relativen seismischen Koeffizienten des Untergrundes* nach den dort vorhandenen besonderen Lagerungsverhältnissen und physikalischen Eigenschaften der einzelnen Formationen die folgenden auf den Koeffizienten für festes Gestein als Einheit bezogenen Werte: Sandstein 1,0 bis 2,4; loser Sand 2,4 bis 4,4; aufgeworfener Boden 4,4 bis 11,6 und Marschland 12,0; und es muß in der Tat überraschen, daß hiernach in dem vorliegenden Fall der Größenordnung nach die Stärke der Erschütterung auf aufgeworfenem Boden und Marschland doch gewiß bis zu dem Zehnfachen des Betrages auf felsiger Unterlage anstieg. Ähnliche Verhältnisse liegen zum Teil auch nach der von *R. Lais* und *A. Sieberg* dargestellten Intensitätsverteilung beim süddeutschen Beben von 1911 vor.

Haben nun namentlich die Untersuchungen über die zweckmäßigste Bauweise in seismisch stark gefährdeten Ländern und die übrigen im Anschluß daran skizzierten experimentellen Anwendungen der Seismologie schon einen sehr beachtenswerten greifbaren Nutzen gezeitigt, so gilt dies noch in keiner Beziehung von den Bemühungen zur Lösung eines die Menschheit wohl am meisten interessierenden seismischen Problems, der *Vorhersage von Erdbeben*. Hinsichtlich der durchweg nicht wissenschaftlichen Versuche, eine Vorhersage der Erdbeben auf eine etwaige durch sekundäre Faktoren bedingte Periodizität in ihrem Auftreten zu gründen, ist unter Bezugnahme auf das bereits weiter oben hierüber Gesagte zu bemerken, daß bei dem gegenwärtigen Stand der Forschung solche möglicherweise vorhandenen Periodizitäten doch erst noch weit präziser herausgestellt werden müssen, bevor sie als einigermaßen gesichert und zur Anwendung geeignet gelten können, und daß, selbst wenn diese notwendige und schwierige Arbeit einmal zu einem ersten positiven Abschluß gekommen sein sollte, wir doch immer nur ein Bild des zeitlichen Ablaufs dieser Nebeneinflüsse gewonnen hätten, ohne daß wir hinsichtlich der zeitlichen Bedingtheit der eigentlichen endogenen Hauptursache klarer sähen.

Von einem ganz anderen Gesichtspunkt aus griff *R. von Kövesligethy* diese Frage an. Er suchte den (durch die ein bedeutendes tektonisches Beben zeitlich umrahmenden Vor- und Nachstöße zum Ausdruck kommenden) Zustand der elastischen Spannung der Erdkruste analytisch zu formulieren. Er ging davon aus, die als *seismische Hysteresis* bezeichnete, von der Zeit abhängige elastische Nachwirkung der Erdschichten allgemein dadurch zu bestimmen, daß er einerseits den Differentialquotienten der Hysteresisfunktion nach der Zeit proportional der Anzahl der Nachstöße setzte und andererseits als angenähertes Gesetz der Abnahme der Frequenz der Nachstöße mit der Zeit die Gleichung einer gleichseitigen Hyperbel gelten ließ. Von den Nachstößen wurde sodann angenommen, daß sie schließlich wieder in die eine kommende neue Haupterschütterung einleitenden Vorbeben übergingen. Das hiermit erneut einsetzende Anwachsen der Bodenspannungen soll nun aber meßbar noch in der Abnahme der örtlichen Wellengeschwindigkeit zum Ausdruck kommen, deren Größe eben von dem durch die so abgeleitete Hysteresisfunktion charakterisierten elastischen Zustand abhängt und der Beobachtung unmittelbar zugänglich ist. So interessant und auch grundlegend diese Gedankengänge durch Einführung des mit dem Auslösungsvorgang eines Bebens eng verknüpften Begriffs der seismischen Hysteresis vom theoretischen Standpunkt nun zwar sind, so ist doch aber für die Praxis zu bedenken, daß die auf diesem Grunde im einzelnen aufgebauten Formeln in ihrer Anwendung auf die in der Natur gegebenen wirklichen Verhältnisse wie schon die gemachten Voraussetzungen selbst durchaus noch problematisch sind.

Wieder einen anderen, mehr praktischen Weg gibt *H. F. Reid* an, wenn er auf Grund bestimmter Vorstellungen über die Entstehung des großen kalifornischen Bebens von 1906 vorschlägt, das Auftreten langsamer Verschiebungen zu beiden Seiten mutmaßlicher Herdlinien, wie z. B. der San Andreas-Spalte im Falle des genannten Bebens, und ihr allmähliches Anwachsen bis zu dem kritischen, einen plötzlichen Bruch hervorrufenden Maß durch wiederholte Ausmessung der gegenseitigen Lage bestimmter Fixpunkte zu verfolgen. Es wird freilich schwer sein, in einem gegebenen Fall a priori eine richtige Vorstellung von der Größe der kritischen Spannung zu gewinnen, und man muß andererseits natürlich auch die Gewißheit haben, daß die Kontrolle über einen Bezirk zu einem Zeitpunkt einsetzte, als die Spannungen hier Null waren, was allerdings zur Hauptsache nach Ablauf eines großen Bebens zutreffen wird. In Fällen, wo es sich

mehr um plötzliche unterirdische, wesentlich nach isostatischen Gesetzen vor sich gehende Massenverschiebungen handelt, wie sehr wahrscheinlich bei den 1908 und 1911 stattgefundenen Erdbeben von Kecskemét in der ungarischen Tiefebene, kann möglicherweise zur Ermittlung der Erdbebenreife eines habituellen Schüttergebiets auch eine genaue Verfolgung der Änderung der Schwerkraftsverhältnisse mit Hilfe der hochempfindlichen *Eötvös*schen Drehwage gute Dienste leisten.

7. Schluß.

In ihrer Gesamtheit werden die vorstehenden Ausführungen gezeigt haben, ein wie ausgedehntes Feld anziehender und weittragender wissenschaftlicher Betätigung die Erdbebenforschung darbietet, daß aber zur Lösung ihrer grundlegendsten Probleme, wie der Konstitution unseres Planeten und der Seismizität seiner Oberfläche, ein weitgehendes, auf einem gut organisierten Erdbebenbeobachtungsdienst der einzelnen Länder beruhendes internationales Zusammenarbeiten erforderlich ist. Nach einer 1921 im Bulletin of the National Research Council (U. S. A.) erschienenen, von *H. O. Wood* zusammengestellten Liste sind auf der Erde zurzeit reichlich 300 Observatorien für seismologische Beobachtungen vorhanden; von diesen liegen 24 Stationen in Deutschland und Deutschösterreich. Die Aufrechterhaltung eines möglichst regen Austausches der Schriften, wie namentlich auch der einzelnen nach dem bereits vor dem Kriege unter Zugrundelegung der *Göttinger Symbole* vereinbarten internationalen Schema ausgewerteten instrumentellen Registrierungen wird man sich besonders angelegen sein lassen müssen. Davon, daß auch bei den Mittelmächten die seismologische Forschung unbeirrt ihren Weg weiter zu gehen sucht, dürfte neben den einschlägigen Veröffentlichungen der letzten Jahre nicht zum wenigsten noch die im September 1922 auf der Leipziger Tagung der Deutschen Naturforscher und Ärzte erfolgte Gründung einer *Deutschen Seismologischen Gesellschaft* Zeugnis ablegen.

Eine neue Form des natürlichen Systems.

Von K. Krause, Berlin-Dahlem.

Alle „natürlichen Systeme", die für das Tier- und Pflanzenreich aufgestellt worden sind, haben trotz oft recht großer Unterschiede im einzelnen doch sämtlich das eine gemeinsam, daß sie eine Stufenfolge zu schaffen suchen, die der phylogenetischen Entwicklung entspricht und deshalb von den niedersten Formen bis zu den höchsten durchgeführt wird. Dieser zum Gemeingut wohl aller Systematiker gewordene Entwicklungsgedanke erhält eine völlig neue Fassung in mehreren Arbeiten des japanischen Botanikers *Hayata*[1]), die vor kurzem erschienen sind und wegen der Eigenart der darin enthaltenen Ideen das Interesse weiter Kreise verdienen. *Hayata* ist zu seinen Studien durch keinen Geringeren als *Goethe* angeregt worden, und zwar war es zunächst das Blatt in *Goethes* oft behandelter und viel gedeuteter „Metamorphose der Pflanzen", das ihn beschäftigt hat und dem er eine neue Erklärung zu geben sucht. Für ihn ist das „Blatt" *Goethes* nicht dasjenige Organ der Pflanze, aus dem heraus sich die verschiedenen Blatt- und Blütenteile entwickelt haben, sondern für ihn sind alle vorhandenen Organe eins, alle Keimblätter, Laubblätter, Hochblätter, Niederblätter, Blumenblätter, Staubblätter usw. sind im Grunde dasselbe. Es gibt überhaupt nur ein einziges Organ; und wenn uns dieses in so vielfacher Form entgegentritt, so ist dies zurückzuführen auf verschiedene Gene, die in wechselnder Zusammensetzung die verschiedenen Eigenschaften und Gestalten der einzelnen Organformen bedingen. Diese Gene sind etwas Unveränderliches und Gegebenes; sie entstehen nicht mehr neu und verschwinden auch nicht wieder, sondern sind und bleiben vorhanden und bedingen in ihrem Zusammenwirken die verschiedenen Eigenschaften des Ur- oder Grundorgans. Und dieses Urorgan ist das Blatt *Goethes*. Mit Hilfe zahlreicher Belege sucht *Hayata* aus Goethes Schriften nachzuweisen, daß sich *Goethes* Ansichten und die seinigen miteinander decken. Solche Beweissätze sind z. B.: „Sie (die Natur) schafft ewig neue Gestalten; was da ist, war noch nie, was war, kommt nicht wieder; alles ist neu und doch immer das Alte. Es ist ein ewiges Leben, Werden und Bewegen in ihr. Sie verwandelt sich ewig, und ist kein Moment Stillstehen in ihr. Fürs Bleiben hat sie keinen Begriff, und ihren Fluch hat sie ans Stillstehen gehängt. Sie ist fest; ihr Tritt ist gemessen, ihre Gesetze unwandelbar. Gedacht hat sie und sinnt beständig; aber nicht als ein Mensch, sondern als Natur. Jedem erscheint sie in einer eigenen Gestalt. Sie verbirgt sich in tausend Namen und Termen, und ist immer dieselbe."[2]) Oder, an anderer Stelle:

„Freudig war vor vielen Jahren,
Eifrig so der Geist bestrebt,
Zu erforschen, zu erfahren,
Wie Natur im Schaffen lebt.
Und es ist das ewig Eine,
Das sich vielfach offenbart;
Klein das Große, groß das Kleine,
Alles nach der eignen Art.
Immer wechselnd, fest sich haltend;
Nah und fern und fern und nah;
So gestaltend, umgestaltend —
Zum Erstaunen bin ich da."

---

[1]) *B. Hayata*, An Interpretation of Goethes Blatt in his „Metamorphose der Pflanzen", as an Explanation of the Principles of the Natural Classification of Plants. (Icones Plantarum Formosanarum X [1921], S. 75—95.) — The Natural Classification of Plants, according to the Dynamic System. (Ebendort S. 97—234.)

[2]) *Goethe*, Die Natur, in Sämtl. Werke Bd. 45 (Leipzig), S. 41—43.

Und noch mehr die folgenden Zeilen:

„Jedes Lebendige ist kein Einzelnes, sondern eine Mehrheit; selbst insofern es uns als Individuum erscheint, bleibt es doch *eine* Versammlung von lebendigen selbständigen Wesen, die der Idee, der Anlage nach gleich sind, in der Erscheinung aber gleich oder ähnlich, ungleich oder unähnlich werden können. Diese Wesen sind teils ursprünglich schon verbunden, teils finden und vereinigen sie sich. Sie entzweien sich und suchen sich wieder, und bewirken so eine unendliche Produktion auf alle Weise und nach allen Seiten."[3])

Aus diesen und anderen Schriftstellen glaubt *Hayata* folgern zu dürfen, daß seine Auffassung von der Einheit aller Organe im Grunde schon die *Goethes* war. Und diese Auffassung von der Einheit des Organs überträgt er nun auf den Artbegriff, auf die Systematik. Denn so wie wir schließlich nur ein *Einheitsorgan* kennen, so gibt es auch im Grunde eine einzige *Einheitsart*, die nur infolge des stets wechselnden Zusammenwirkens verschiedener Gene in so vielfacher Form auftritt. Dabei können die gleichen Gene bei Pflanzen vorkommen, die in heute geltenden Systemen weit voneinander entfernt stehen und infolgedessen ihre tatsächliche Verwandtschaft gar nicht erkennen lassen; anderseits brauchen Pflanzengruppen, die im jetzigen „natürlichen" System dicht aufeinander folgen, oft nur wenig miteinander gemein zu haben, so daß ihre wirkliche Verwandtschaft gar nicht so eng ist, wie es nach ihrer unmittelbar benachbarten Stellung der Fall zu sein scheint. Das ganze natürliche System läßt sich überhaupt nicht als eine lineare Entwicklungsreihe oder in Gestalt eines sich an seinen Endästen immer weiter entwickelnden Stammbaumes darstellen, sondern viel eher als ein netz- oder wabenartiges Gebilde, dessen einzelne Glieder nach allen Richtungen hin untereinander Verbindungen besitzen und deren gegenseitige Stellung verschieden ist, je nach der Seite, von der aus man sie betrachtet. In einem solchen System hat nicht jede Art, jede Gattung, jede Familie wie überhaupt jeder Verwandtschaftskreis seine ganz bestimmte, starre, unveränderliche Stellung, die durch seine „natürliche" Verwandtschaft bedingt wird, sondern die Stellungen der Arten wechseln je nach dem Standpunkt des Systematikers, nach dem Maßstab, mit dem man sie beurteilt. Das ganze System ist überhaupt kein *statisches*, sondern ein *dynamisches*, in dem man niemals sagen kann, die Stellung einer Gattung oder Familie muß innerhalb dieser oder jener, jedenfalls innerhalb ganz bestimmter Grenzen liegen, sondern man wird immer nur sagen dürfen, bei Berücksichtigung dieses Merkmales gehört der betreffende Verwandtschaftskreis hierhin, bei Berücksichtigung jenes Merkmales dorthin und bei Berücksichtigung eines dritten wieder an eine andere Stelle.

Natürlich ist es schwierig, ein derartiges dynamisches System in einfache, übersichtliche Formen zu bringen, da es ja eigentlich nur durch ein sehr kompliziertes körperliches Modell veranschaulicht werden kann. Um es überhaupt deutlich zu machen, muß als Grundlage doch ein System benutzt werden, das die Familien usw. der Reihe nach aufführt und damit unwillkürlich näher und ferner stehende Gruppen schafft. Erst durch besondere Zusätze lassen sich diese Mängel wieder ausgleichen; da aber solche Verbesserungen in jedem Falle nötig sind, so ist es schließlich gleichgültig, was für ein System zugrunde gelegt wird. Auch *Hayata* muß als Basis für sein dynamisches System ein rein statisches System benutzen, und zwar nimmt er das von *Engler* für die Blütenpflanzen geschaffene, das ihm gewissermaßen als Rahmen dient und von ihm als „frame work" bezeichnet wird. Er betont indes ausdrücklich, daß er bei der Beweglichkeit seines Systems ebensogut jedes andere statische System als Unterlage hätte verwenden können; vorgezogen hat er das Englersche System nur deshalb, weil er es für das bekannteste und gebräuchlichste hält. In welcher Weise er sein neues System aufstellt, werden einige Beispiele daraus am besten erläutern. Er schreibt z. B. unter Benutzung des Englerschen Systems für die Blütenpflanzen:

[3]) *Goethes* Werke II, *6* (Weimar, 1891), S. 10—12.

Gymnospermae	Subdivision Angiospermae	
Dicotyledoneae	Class Monocotyledoneae	
Spathiflorae	Series I. Pandanales	*Synanthae Principes*
Pandanaceae	1 Typhaceae	*Sparganiaceae*
Araceae Palmae	2. Pandanaceae	*Sparganiaceae Typhaceae Cyclanthaceae*
Araceae Gramineae	3. Sparganiaceae	*Pandanaceae Typhaceae*

Monocotyledoneae	Class Dicotyledoneae	*Gymnospermae Taccaceae Triuridaceae*

Ericales Tubiflorae	Series XLIII. Primulales	*Sapindales Plumbaginales*
Sapotaceae	241. Theophrastaceae	*Myrsinaceae Primulaceae*
Sapotaceae Plumbaginaceae	242. Myrsinaceae	*Theophrastaceae Primulaceae Corynocarpaceae Sapotaceae*
Diapensiaceae	243. Primulaceae	*Plumbaginaceae Theophrastaceae Lentibulariaceae Myrsinaceae*

Rosales	*Campanulatae*	Series XLIX.	Rubiales	*Umbelliflorae*	*Parietales*	*Archichlamydeae*
				Tubiflorae		
Compositae	*Dipsacaceae*	275.	Rubiaceae	*Caprifoliaceae*	*Valerianaceae*	*Umbelliferae*
				Polypetala	*Loganiaceae*	*Bignoniaceae*
				Apocynaceae	*Cornaceae*	
				Rubiaceae	*Adoxaceae*	
				Caprifoliaceae		
Cornaceae	*Valerianaceae*	276.	Caprifoliaceae	*Caprifoliaceae*	*Rubiaceae*	
Saxifragaceae	*Araliaceae*	277.	Adoxaceae	*Valerianaceae*	*Rubiaceae*	
	Dipsacaceae	278.	Valerianaceae			
Calyceraceae	*Loasaceae*	279.	Dipsacaceae			

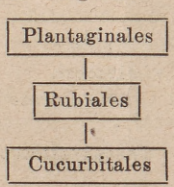
Die obigen beliebig aus dem ganzen System herausgegriffenen Beispiele, die nur die Verwandtschaftsverhältnisse einiger weniger Serien und Familien veranschaulichen — denn die Darstellung des ganzen Systems ist schon aus räumlichen Gründen nicht möglich — werden genügen, um *Hayatas* Anschauungen deutlich zu machen. Man ersieht aus diesem Schema nicht nur die Verwandtschaft zu unmittelbar folgenden und vorhergehenden Familien, sondern auch die Beziehungen zu entfernter stehenden, da diese in jedem einzelnen Falle (oben in Kursivdruck) mitgenannt werden. Während früher die verschiedenen Verwandtschaftskreise einzeln der Reihe nach zitiert wurden, also z. B. im Englerschen System aufeinander folgten:

Ser. XLVIII Plantaginales,
Ser. XLIX Rubiales,
Ser. L Cucurbitales

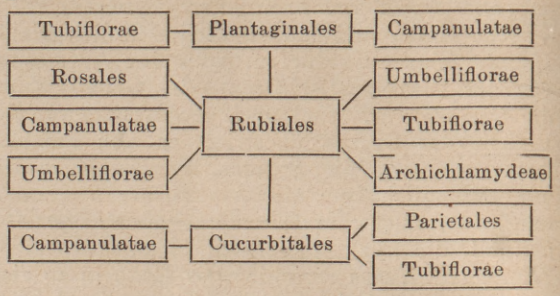
und daraus nur eine gewisse Verwandtschaft zwischen Rubiales, Plantaginales und Cucurbitales hervorging, ergeben sich aus dem Schema *Hayatas* zugleich alle sonstigen noch vorhandenen Beziehungen. Denn von ihm werden sämtliche anderen Reihen und Verwandtschaftskreise mit aufgeführt, die sonst noch den *Plantaginales, Rubiales* und *Cucurbitales* näher stehen; bei ihm heißt es

Tubiflorae Ser. XLVIII Plantaginales *Campanulatae,*
Rosales Campanulatae Ser. XLIX Rubiales *Umbelliflorae Parietales Archichlamydeae Tubiflorae,*
Campanulatae Serie L Cucurbitales Parietales *Tubiflorae.*

Daraus erkennt man nicht nur, daß *Plantaginales, Rubiales* und *Cucurbitales* miteinander verwandt sind, sondern man sieht zugleich auch, daß die Plantaginales Beziehungen zu den *Tubiflorae* und *Campanulatae,* die Rubiales solche zu den *Rosales, Campanulatae, Umbelliflorae, Parietales* usw., die Cucurbitales endlich zu den *Campanulatae, Parietales* und *Tubiflorae* besitzen. Er gruppiert gleichsam um jede Serie, jede Familie alle ihre Verwandten, und, während früher einfach aufeinander folgten:



würde sich heute nach *Hayata* folgendes Bild ergeben:



Ebenso verhält es sich mit den Familien. Die Rubiaceen z. B. sind nicht nur, wie man nach den bisherigen Systemen annehmen könnte, mit den unmittelbar folgenden Caprifoliaceen verwandt, sondern weisen Beziehungen zu zahlreichen anderen Familien auf, nämlich zu all denen, die ihnen im obigen Schema in Kursivdruck beigefügt sind, also *Compositae, Dipsacaceae, Valerianaceae* usw. Man sieht daraus, daß das ganze System durchaus nicht eine einfache lineare Entwicklungsreihe darstellt, sondern daß im Gegenteil sehr mannigfache und vielseitige Beziehungen bestehen, die eben nur in dem von *Hayata* angewendeten Schema zum Ausdruck gebracht werden können. Dabei ist die zugrunde gelegte Reihenfolge der Familien völlig gleichgültig, denn die Verwandtschaften treten auch bei einer anderen Gruppierung gleich deutlich hervor. Das ganze System ist eben nicht in starre, unveränderliche Formen gezwängt, sondern es ist dynamisch, beweglich nach allen Richtungen hin.

Natürlich werden die Ansichten über *Hayatas* Einheitsart und das darauf gegründete dynamische System vielfach geteilt sein, vor allem deshalb, weil hierin schließlich jede Entwicklung, jede Unterscheidung zwischen höher und tiefer stehenden Verwandtschaftskreisen bestritten wird. Auch die von ihm konstruierten Beziehungen zwischen den einzelnen Reihen, Familien usw. werden manchem Zweifel begegnen. Schon jetzt kann man gegen sie einwenden, daß *Hayata* als Grundlage für sie Merkmale benutzt, die man bisher sehr verschieden bewertete. Denn einfache Analogien, wie kolbenförmige Anordnung der Blüten, erikoide Blattgestalt, ähnliche Fruchtentwicklung, Kleinheit der Samen oder andere, auf gleiche Lebensbedingungen zurückzuführende Übereinstimmungen, wie Sukkulenz und dergleichen, werden von ihm mit anderen, früher für

viel wichtiger erachteten Merkmalen, wie Blütenbau, Zahl und Stellung der Samenanlagen usw., auf eine Stufe gestellt. Und gerade diese gänzliche Gleichstellung aller Merkmale, ihre Zurückführung auf vollkommen gleichwertige Gene wird den meisten Systematikern trotz der Berufung auf *Goethe* schwer verständlich sein. Ebenso dürften Unklarheiten darüber bestehen, wieweit die „Einheitsart" auszudehnen ist. Von *Hayata* zwar zunächst nur auf die Blütenpflanzen angewendet, müßte sie mit demselben Rechte auch auf die niederen Organismen des Pflanzenreiches erweitert werden, und von da wäre es nur noch ein Schritt, um auch die Vertreter des Tierreichs miteinzuschließen. *Hayata* selbst unterläßt es, derartige Folgerungen zu ziehen; daß sie ihm nahe liegen, ergibt sich oft genug aus seinen Ausführungen, die immer wieder das alte Goethesche Bestreben erkennen lassen, alle Lebewesen in Eins zusammenzufassen und zu vereinigen.

Besprechungen.

Berg, Ragnar, Die Vitamine. Kritische Übersicht der Lehre von den Ergänzungsstoffen. Leipzig, S. Hirzel, 1922. VIII, 336 S. 17 × 24 cm.

Als im Jahre 1914 die erste zusammenfassende Darstellung über Vitamine aus der Feder *Casimir Funks* erschien, worin der um den Ausbau des neuen Wissensgebietes so verdiente Autor nicht nur einen Überblick über das bis dahin Bekannte gab, sondern gleichzeitig die Aufgaben der Forschung für die Zukunft kühn zu umreißen versuchte, konnte man nicht ahnen, daß dieser neue Wissenszweig sich in kurzer Zeit so gewaltig entwickeln und einen so bedeutsamen Einfluß auf die praktische Ernährungslehre (insbesondere für den heranwachsenden Organismus) nehmen würde. Erst jetzt nach Beendigung des Krieges, als die wissenschaftliche Blockade ihr Ende erreicht hatte, sahen wir in Deutschland, in welch' großzügiger Weise und mit welch' unbeschränkten Mitteln man in England und besonders in Amerika während der Kriegsjahre auf dem Vitamingebiet weiter gearbeitet hatte.

Nun erscheinen fast genau um die gleiche Zeit in Deutschland zwei neue Vitaminbücher! Das eine von *Casimir Funk*, das als zweite Auflage des alten Werkes bezeichnet wird, aber in Wirklichkeit in ganz neuem Gewand auftritt (was ja nicht weiter Wunder nimmt, wenn man bedenkt, daß ein ganz wesentlicher Teil der Vitaminlehre erst in den letzten 8 Jahren geschaffen wurde), und das andere von *Ragnar Berg*, das an dieser Stelle kurz besprochen werden soll. Daß der durch seine umfassenden Arbeiten auf dem Gebiete des Mineralstoffwechsels bekannte Forscher die Entwicklung des Vitamingebietes von Anfang an mit größter Aufmerksamkeit verfolgte, ist leicht verständlich. Stellt doch das Forschungsgebiet, das sich mit den „Vitaminen" befaßt, nur einen verhältnismäßig beschränkten Teil desjenigen Abschnitts der Ernährungslehre dar, der sich mit der *qualitativ unzureichenden Ernährung* beschäftigt. Ein anderer, ebenso wichtiger Teil ist die Lehre von dem Bedarf an den einzelnen Mineralstoffen. Dieses wichtige Kapitel der Ernährungsphysiologie ist leider infolge methodischer Schwierigkeiten (allein schon die Unmöglichkeit, die organischen Nahrungsstoffe ganz frei von Mineralstoffen zu bekommen, stört auf Schritt und Tritt) bei weitem nicht so weit ausgebaut, wie man bei dem hohen Stand der Ernährungslehre erwarten sollte. Und so ist es begreiflich, daß *Ragnar Berg*, wie er selbst erzählt, der Vitaminlehre mit der größten Skepsis gegenübertrat und bei den Insuffizienzerscheinungen zunächst an einen Mangel an Mineralstoffen dachte. Diese Skepsis war durchaus nicht unberechtigt. Denn das Fehlen bestimmter anorganischer Stoffe in der Nahrung kann zu ganz ähnlichen Folgezuständen führen wie Vitaminmangel selbst: Wachstumshemmung, schwere Appetitlosigkeit, nervöse Erscheinungen usw., und schließlich hat man solche Beobachtungen auch bei ungenügender Zufuhr bestimmter Aminosäuren gemacht. Es gibt also zweifellos eine ganze Reihe von *Störungen*, die (in verschiedenem Grade und in verschiedener Weise bei den einzelnen Tiergruppen) *bei jeder Art der qualitativen Nahrungsinsuffizienz* sich geltend machen können. Merkwürdigerweise wird diese Tatsache von dem Verfasser gar nicht in dieser scharfen Formulierung hervorgehoben. Auch die große Bedeutung, die nach den neuesten Forschungen amerikanischer Autoren den Vitaminen für die Aufnahme und den Ansatz bestimmter Mineralstoffe (der Phosphorsäure und des Kalziums namentlich) zukommt, ist nicht genügend betont; das sei hier schon gleich vorweg bemerkt.

Zu dem Inhalt des Werkes kann im Umfange eines kurzen Referats natürlich nicht im einzelnen Stellung genommen werden, vor allem da, wo es sich um Fragen handelt, in denen der Verfasser seinen besonderen Standpunkt vertritt und sich in scharfen Widerspruch zu den deutschen Ernährungsphysiologen setzt. Nur in großen Zügen kann ein Bild von dem Buch entworfen werden!

In dem ersten Kapitel wird die *biologische Wertigkeit der Eiweißkörper* eingehend gewürdigt. Die enge Verknüpfung der hierher gehörigen Forschungen mit dem Vitamingebiet ist nicht nur historisch, sondern auch im Hinblick darauf, daß man es auch hier mit qualitativer Nahrungsinsuffizienz zu tun hat, vollauf berechtigt.

Bekanntlich hat seinerzeit ein in diesen Fragen besonders bewanderter Forscher, *Röhmann*, geglaubt, alle als Vitaminmangel gedeuteten Insuffizierungserscheinungen auf Ernährung mit unterwertigem Eiweiß zurückführen zu sollen.

Daß der *Bedeutung der Mineralstoffe* eine breite Darstellung zuteil wurde, versteht sich bei der besonderen Einstellung des Verfassers zu diesem Forschungsgebiet von selbst und ist überdies sehr zu begrüßen. *Ragnar Berg* benützt das Kapitel, um hier nochmals seine viel angefochtene Behauptung von der Wichtigkeit eines Basenüberschusses in der Kost für eine vernunftgemäße Ernährung ausführlich zu begründen, eine Behauptung, die bekanntlich erst neuerlich wieder von *C. v. Noorden* und *Salomon* mit Entschiedenheit abgelehnt wurde.

In den *eigentlichen Vitaminkapiteln* bringt der Verfasser, wie das schon im Untertitel des Werks zum Ausdrucke kommt, eine kritische Übersicht über das Vitamingebiet, auf dem er selbst nicht gearbeitet hat. Er zeigt dabei eine umfassende Literaturkenntnis. Zwischen die Kapitel, in denen die einzelnen Vitamine und die spezif. Avitaminosen abgehandelt werden, wird ein bes. Abschnitt *den Bedingungen des Wachstums* gewidmet. Bei der großen Bedeutung der Vitamine für den Anwuchs ist eine zusammenfassende Darstellung alles hierher gehörigen von besonderem Wert.

Zwei besondere Kapitel befassen sich mit der *Ödemkrankheit* und der *Pellagra;* auch hier kommt der besondere Standpunkt *Ragnar Bergs* zum Mineralstoffwechsel wieder sehr stark zum Ausdruck und das gleiche gilt für die Anschauungen, die über die Ätiologie der *Sprue* (die anhangsweise behandelt wird) ausgesprochen werden.

Sehr zu begrüßen ist eine Übersichtstabelle, in der der Gehalt wohl der meisten zur menschlichen Ernährung benötigten Produkte des Tier- und Pflanzenreichs an den einzelnen Vitaminen verzeichnet ist.

Ein reichhaltiges Autoren- und Sachregister erleichtert das Nachschlagen.

Schließlich noch ein Wort über die von *Ragnar Berg* vorgeschlagene Bezeichnung für die Ergänzungsstoffe! Er spricht von *Komplettinen*! Bei aller Würdigung der gegen den Namen „Vitamin" vorgebrachten Bedenken, die zum Teil auch der Referent schon an anderer Stelle zum Ausdruck brachte, scheint die neue Bezeichnung keinen Fortschritt zu bedeuten. Abgesehen von Bedenken sprachlicher Natur wird man dem deutschen Wort „Ergänzungsnährstoff" unbedingt den Vorzug geben müssen und lieber dabei bleiben! Aber hierum handelt es sich ja gar nicht. Das Wort *Vitamin*, das von *Funk* ursprünglich für den Beriberischutzstoff (und verwandte Substanzen) geprägt worden ist, hat sich nun einmal eingebürgert und hat in der ganzen Welt Aufnahme gefunden. Man sollte es also dabei bewenden lassen, auch wenn sich der Kreis der Stoffe, für den es ursprünglich geprägt worden ist, inzwischen vergrößert hat.

Aber das sind ja belanglose Dinge! Das Werk gibt, was es verspricht: Eine umfassende kritische Würdigung des gesamten zurzeit vorliegenden Tatsachenmaterials. Daß es in allen Fragen, die den Mineralstoffwechsel und damit die besondere Stellungnahme des Forschers zu diesem Gebiet berühren, etwas einseitig ist, muß in Kauf genommen werden. Auf der andern hat ein stark subjektiv geschriebenes Buch wie dieses auch seine entsprechenden Vorzüge: Lebendiges, entschiedenes Eintreten für bestimmte Anschauungen. Der kritische Leser wird hierdurch zweifellos stärker angeregt, wenn auch vielleicht zum Widerspruch, als durch eine Darstellung, die allen Schwierigkeiten aus dem Wege geht und ein entschlossenes Bekenntnis in strittigen Fragen vermeidet.

Als eine Einführung in das ganze Wissensgebiet, die überall Anregungen bringt, ist dieses Werk eines selbständigen Kopfes warm zu empfehlen.

Wilhelm Stepp, Gießen.

Geiringer, Hilda, Die Gedankenwelt der Mathematik. Berlin und Frankfurt a. M., Verlag der Arbeitsgemeinschaft, 1922. 8°. 200 S. Preis M. 35,—.

Diese Schrift bezweckt, „die Stellung der Mathematik im System unserer wissenschaftlichen Weltbetrachtung und (nach Ursprung sowohl wie nach Anwendung) in unserem Leben überhaupt" denjenigen darzulegen, die eine allgemeine Orientierung über die mathematische Wissenschaft wünschen. Zugleich ist sie als Unterlage oder als Anregung gedacht für zusammenfassende Darstellungen des Wissensgebietes der Mathematik, wie sie in akademischen Vorlesungen und auch in Volkshochschulkursen anzustreben wären.

Der Inhalt des Buches gliedert sich in drei Hauptteile. Der erste Teil handelt — allerdings nur ziemlich kurz — von den psychologischen Wurzeln und von der Entwicklung des mathematischen Forschens, der zweite von der Methode des mathematischen Erkennens und seinem Verhältnis zur Anschauung, zur Logik und zur Wirklichkeit; der dritte handelt von der Bedeutung, welche der Mathematik einerseits durch ihre Anwendungen, insbesondere auf die Physik, andererseits wegen ihres inneren, ästhetischen Wertes zukommt. In einem Anhange folgen dann noch einige Bemerkungen und Vorschläge zur Methode des mathematischen Unterrichts.

Die Ausführungen über die verschiedenen Fragen bieten vor allem eine reichhaltige Auswahl von Gedanken und auch wörtlichen Zitaten aus der einschlägigen neueren Literatur. (Ein Verzeichnis der berücksichtigten Literatur, versehen mit erläuternden Bemerkungen, befindet sich am Schluß des Buches.)

Der erkenntnistheoretische Standpunkt, den *Hilda Geiringer* vertritt, ist der des Empirismus. Insbesondere schließen sich ihre Darlegungen viel an die Gedankengänge *Machs* an. Die Betrachtungen über die Axiomatik sind in Anlehnung an *Wellstein*, die über Approximationsmathematik im Anschluß an *Klein* ausgeführt. Bei der Besprechung der psychologischen Fragen erfahren die Gesichtspunkte der Psychoanalyse eine vorurteilsfreie Berücksichtigung.

Die Stellungnahme *Hilda Geiringers* zu den grundsätzlichen Fragen hat den Vorzug logischer Klarheit und Einheitlichkeit; jedoch verführt die Tendenz zur Einfachheit der Auffassung sie mitunter zu einem Hinweggehen über Feinheiten und Schwierigkeiten. Dies gilt insbesondere bezüglich ihrer Besprechung des Verhältnisses von Mathematik und Logik, bei welcher die Paradoxien der Mengenlehre und die mit diesen zusammenhängenden aktuellen Probleme gänzlich ignoriert werden.

Ein wesentlicherer, dem Buche im ganzen anhaftender Mangel besteht darin, daß es zu wenig aus dem eigentlichen Gedankenkreise der Mathematik hervorgegangen ist und daher auch die Art und die Bedeutung des mathematischen Denkens dem Außenstehenden nicht genügend nahebringt. Die Methode der Mathematik wird nur vom erkenntnistheoretischen Gesichtspunkt aus geschildert, sodaß der Leser fast nur von dem erfährt, was an der Peripherie der Mathematik liegt. Und was die Anwendungen der Mathematik auf die Naturwissenschaft betrifft, so sind die Betrachtungen, welche *Hilda Geiringer* hierüber im Sinne von *Mach* anstellt, wohl geeignet, einer zu weitgehenden rationalistischen Begeisterung Einhalt zu tun; hier aber käme es doch vor allem darauf an, eine Vorstellung zu geben von der großen Fruchtbarkeit und heuristischen Kraft, welche die mathematische Systematik und der mathematische Formalismus in der Physik bewährt, und auf die gewaltigen Triumphe hinzuweisen, die das mathematische Denken in der neueren Entwicklung der physikalischen Theorien errungen hat.

Hinsichtlich der Form der Darstellung sei schließlich noch bemerkt, daß man bei einer Schrift, die ein Wissensgebiet einem weiteren Leserkreise zugänglich machen soll, eine etwas spannendere Gedankenführung wünschen möchte. *P. Bernays, Göttingen.*

Herausgeber und verantwortlicher Schriftleiter: *Dr. Arnold Berliner, Berlin W 9.*
Verlag von Julius Springer in Berlin W 9. — Druck von H. S. Hermann & Co. in Berlin SW 19.